

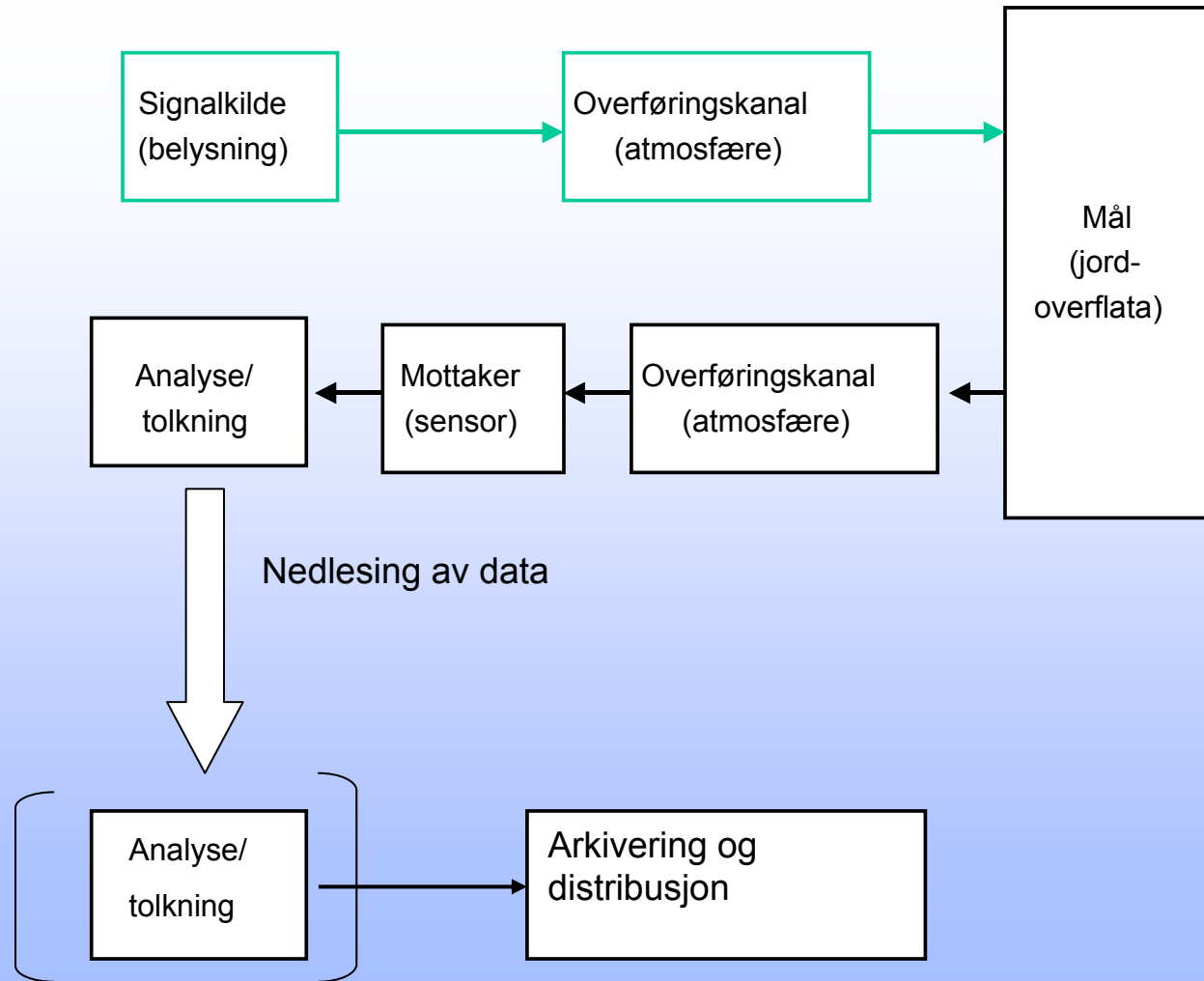
---

# ROMTEKNOLOGI

## Nyttelaster for jordobservasjon

Gunnar Stette  
G.Stette@tele.ntnu.no

# System for jordobservasjon

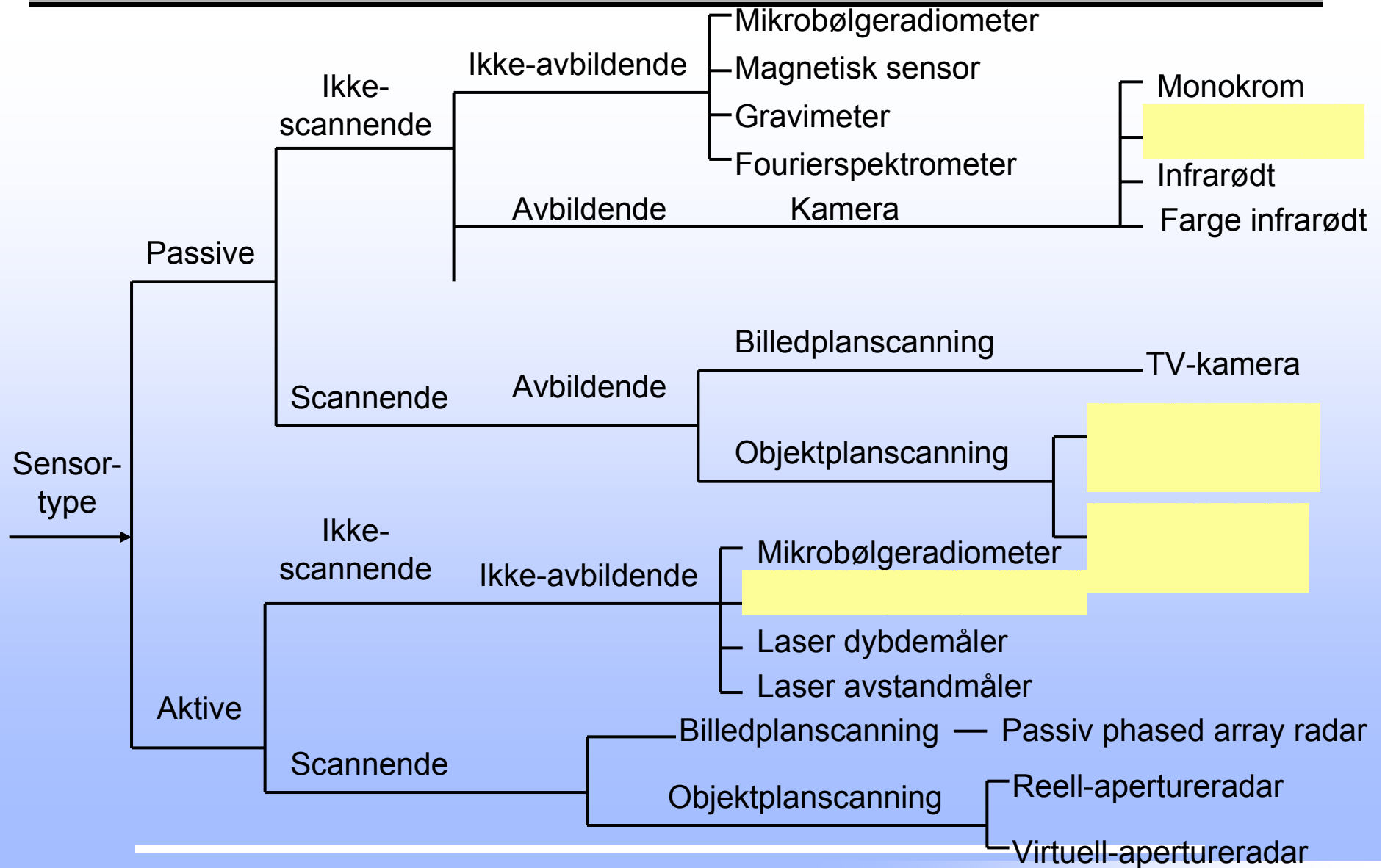


# Oversikt

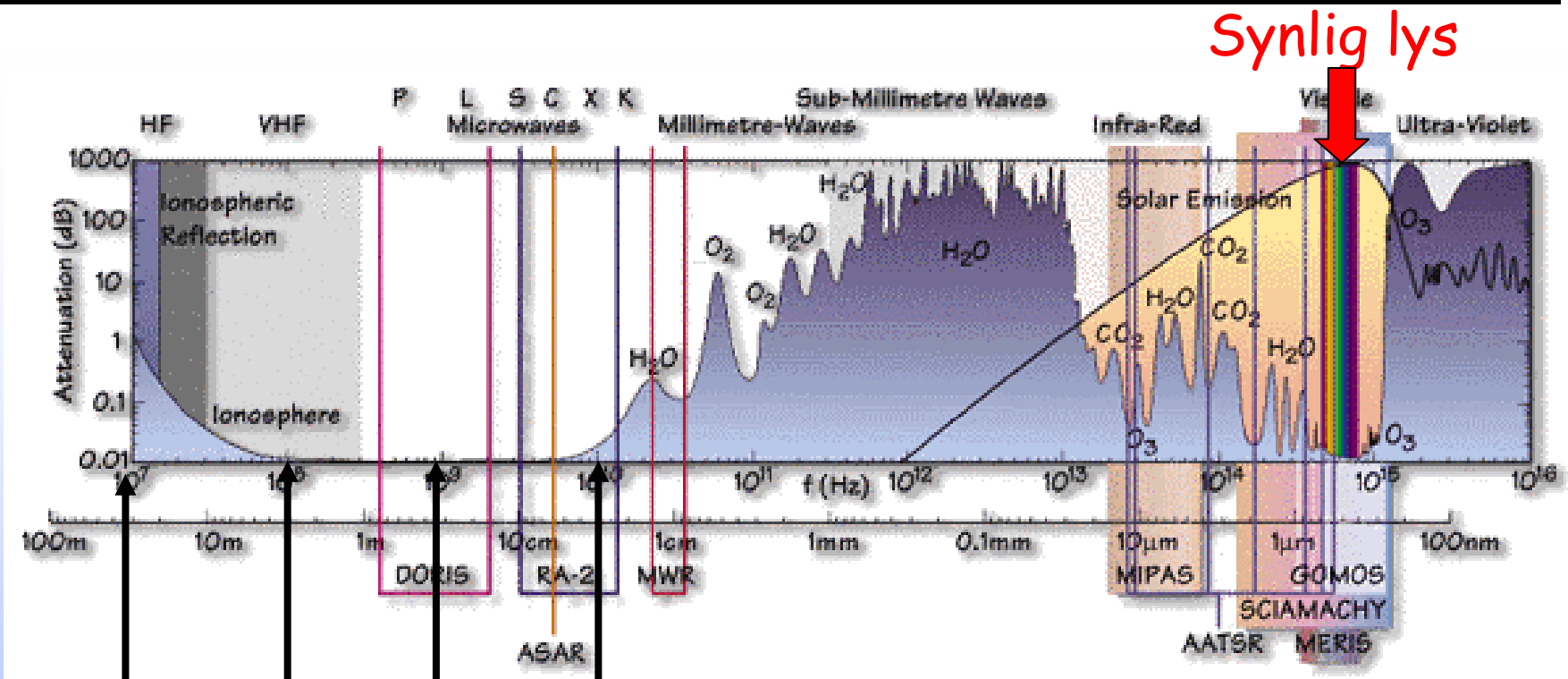
---

- Systemer for jordobservasjon
- Vinduer i atmosfæren
  - Mikrobølger
  - Optisk observasjon
- Radar med syntetisk aperture (SAR)
- Interferometri
- Optisk deteksjon
  - Grunnleggende begrensninger
  - GOME
- Meteorologiske satellitter

# Oversikt over instrumenter



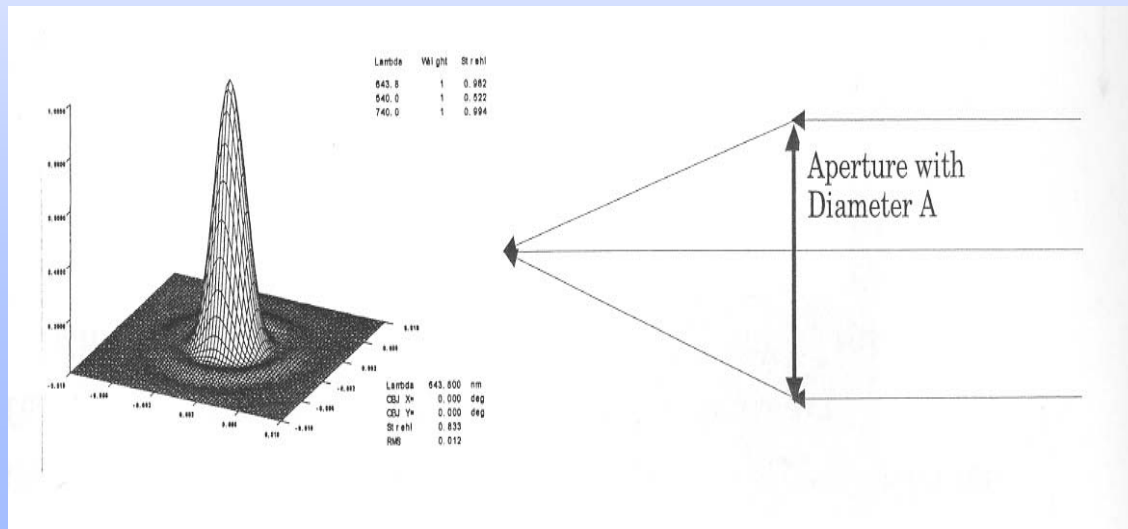
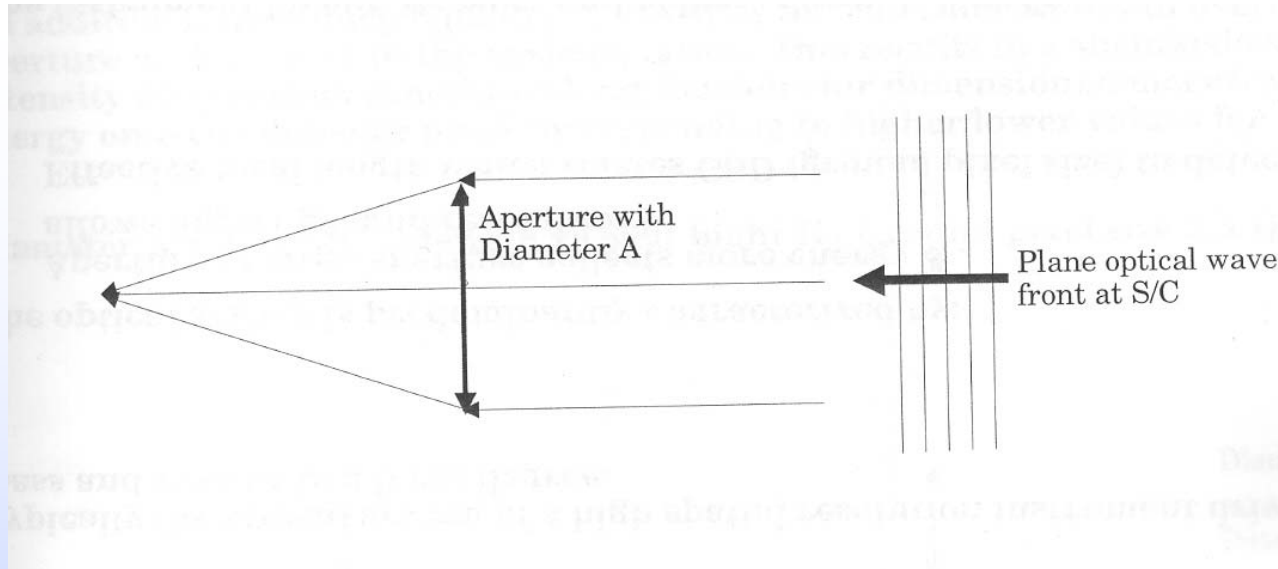
# Vinduer i atmosfæren



$10 \text{ MHz}$ , 30 m  
 $100 \text{ MHz}$ , 3 m  
 $1000 \text{ MHz} = 1 \text{ GHz}$ , 30 cm  
 $10 \text{ GHz}$ , 3 cm

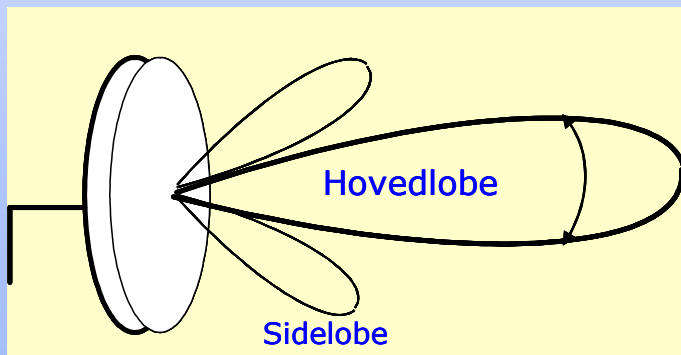
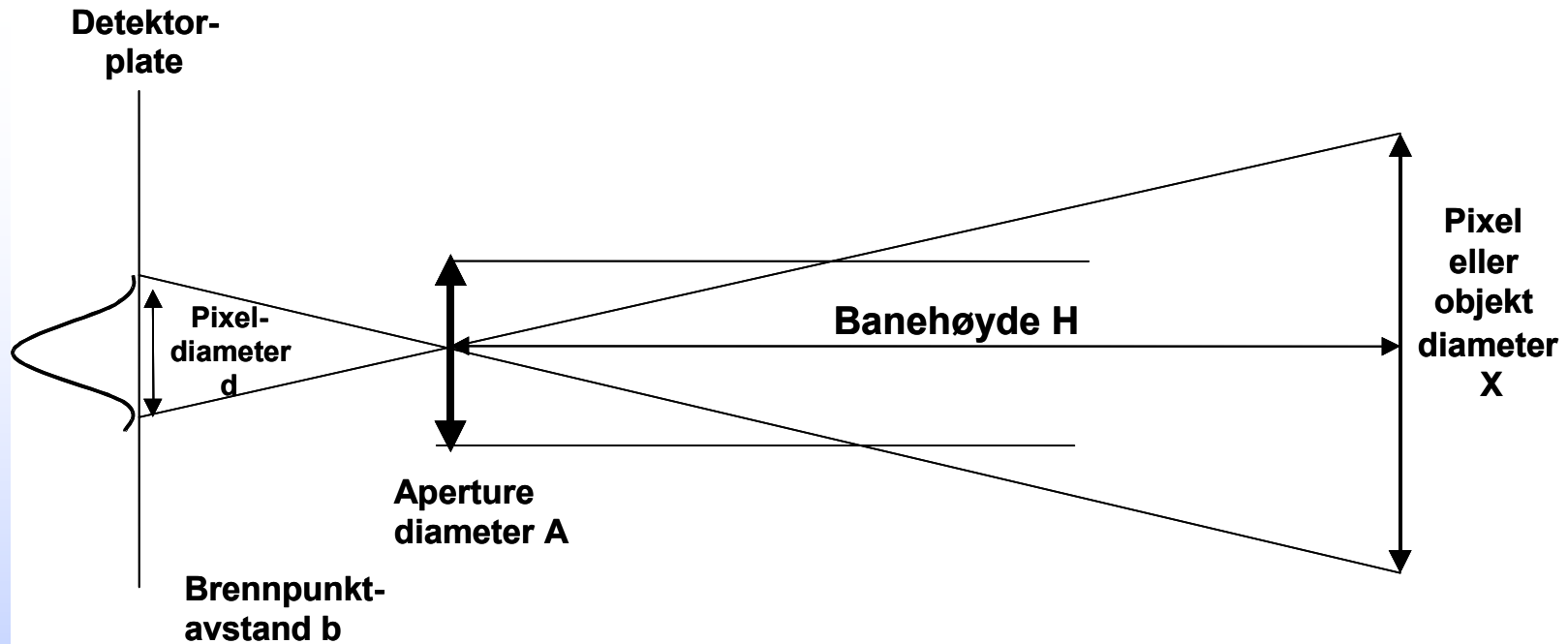
**0,5  $\mu\text{m}$**

# OPPLØSNING



Oppløsningen er bestemt av aperturdiameter og bølgelengde.

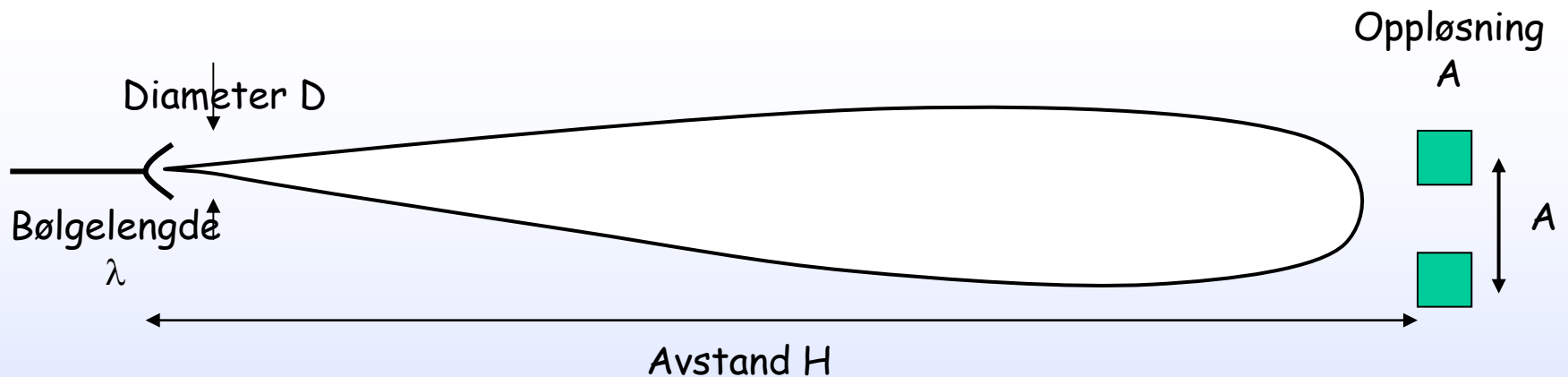
# Utforming av kamera i satellitt.



$$\text{Vinkelopplosning } \theta = \frac{1,22D}{\lambda} \text{ rad}$$

$$\theta_{3dB} = \frac{72 \cdot \lambda}{D} \text{ grader}$$

# Bruk av lys (optisk) og radiobølger (radar)



## Optisk

$\lambda = 0,5 \mu\text{m}$   
 $D = 10 \text{ cm}$   
 $H = 1000 \text{ km}$

$$A = H \cdot \frac{1,22 \cdot \lambda}{D} = 1000000 \cdot \frac{1,22 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{0,1} = 6 \text{ meter}$$

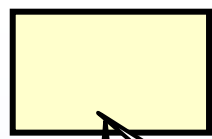
## RADAR

$\lambda = 0,03 \text{ m}$   
 $F = 10 \text{ HGz}$   
 $D = 3 \text{ m}$   
 $H = 1000 \text{ km}$

$$A = H \cdot \frac{1,22 \cdot \lambda}{D} = 1000000 \cdot \frac{1,22 \cdot 0,03}{3} = 12200 \text{ meter}$$



# Hvordan lage radarbilder med høy oppløsning?

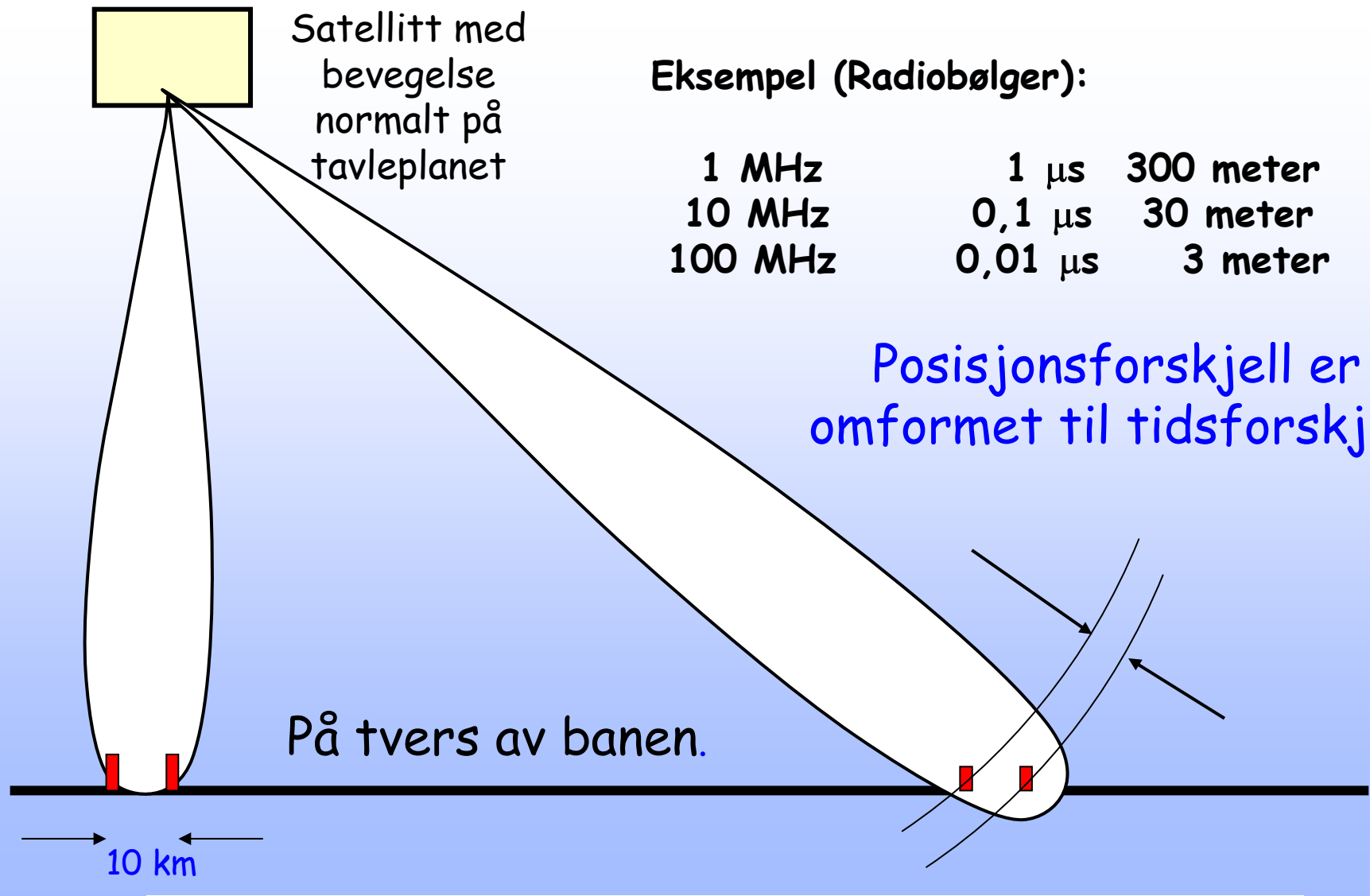


Satellitt med bevegelse normalt på tavleplanet

Eksempel (Radiobølger):

1 MHz	1 $\mu$ s	300 meter
10 MHz	0,1 $\mu$ s	30 meter
100 MHz	0,01 $\mu$ s	3 meter

Posisjonsforskjell er omformet til tidsforskjell



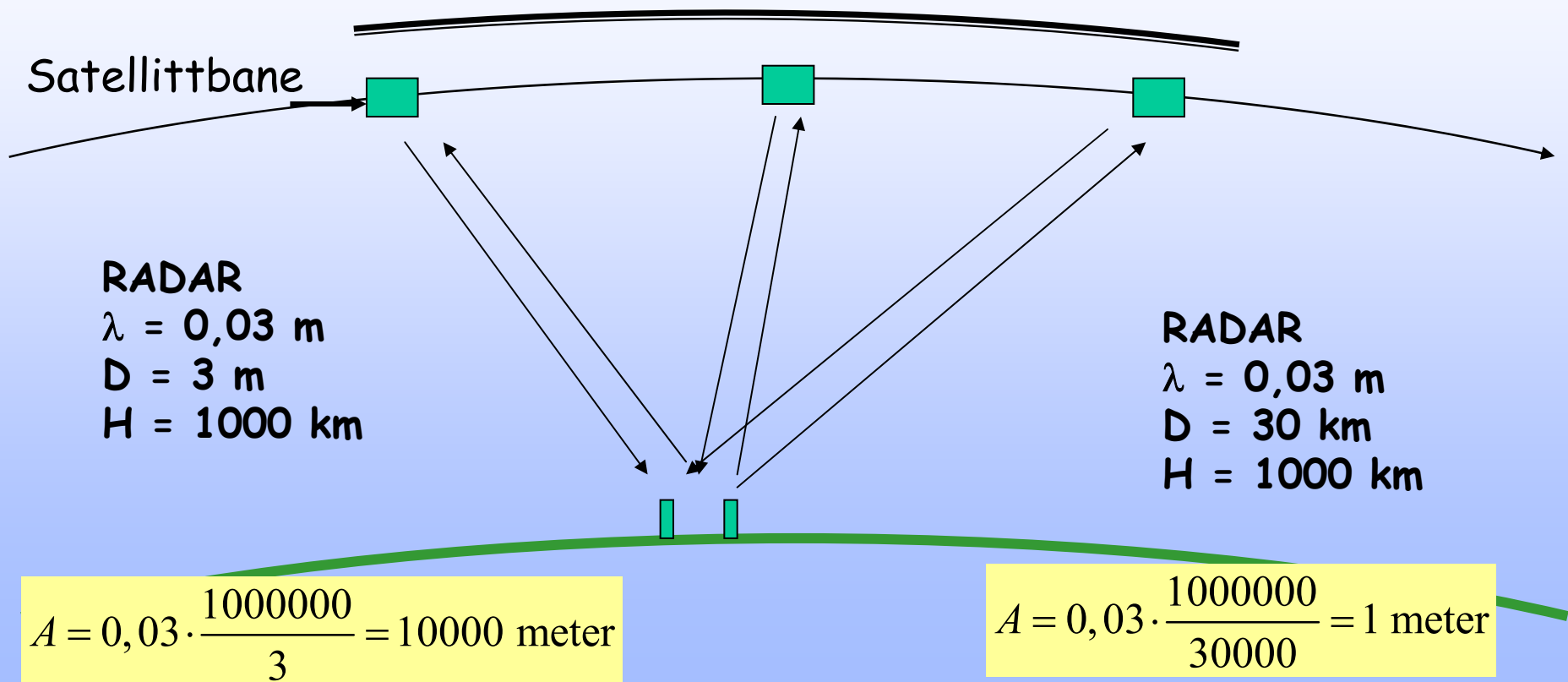
På tvers av banen.

10 km

# Langs banen

Utsendte pulser og mottatte reflekser registreres nøyaktig med amplitude, fase og posisjoner. Dermed blir radarbildet "som om satellitten er tilstede samtidig over den aktuelle banedelen". Dette gir en stor "syntetisk aperture".

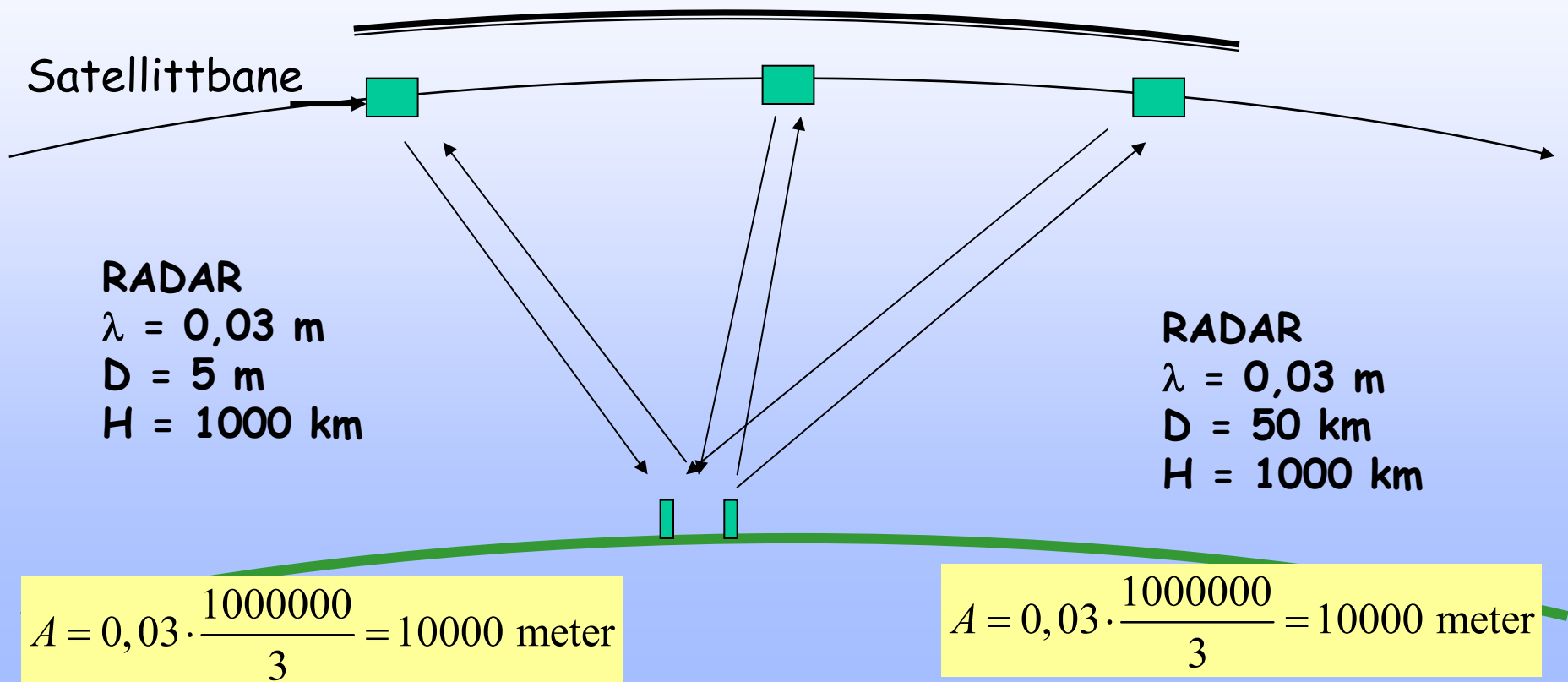
Syntetisk aperture



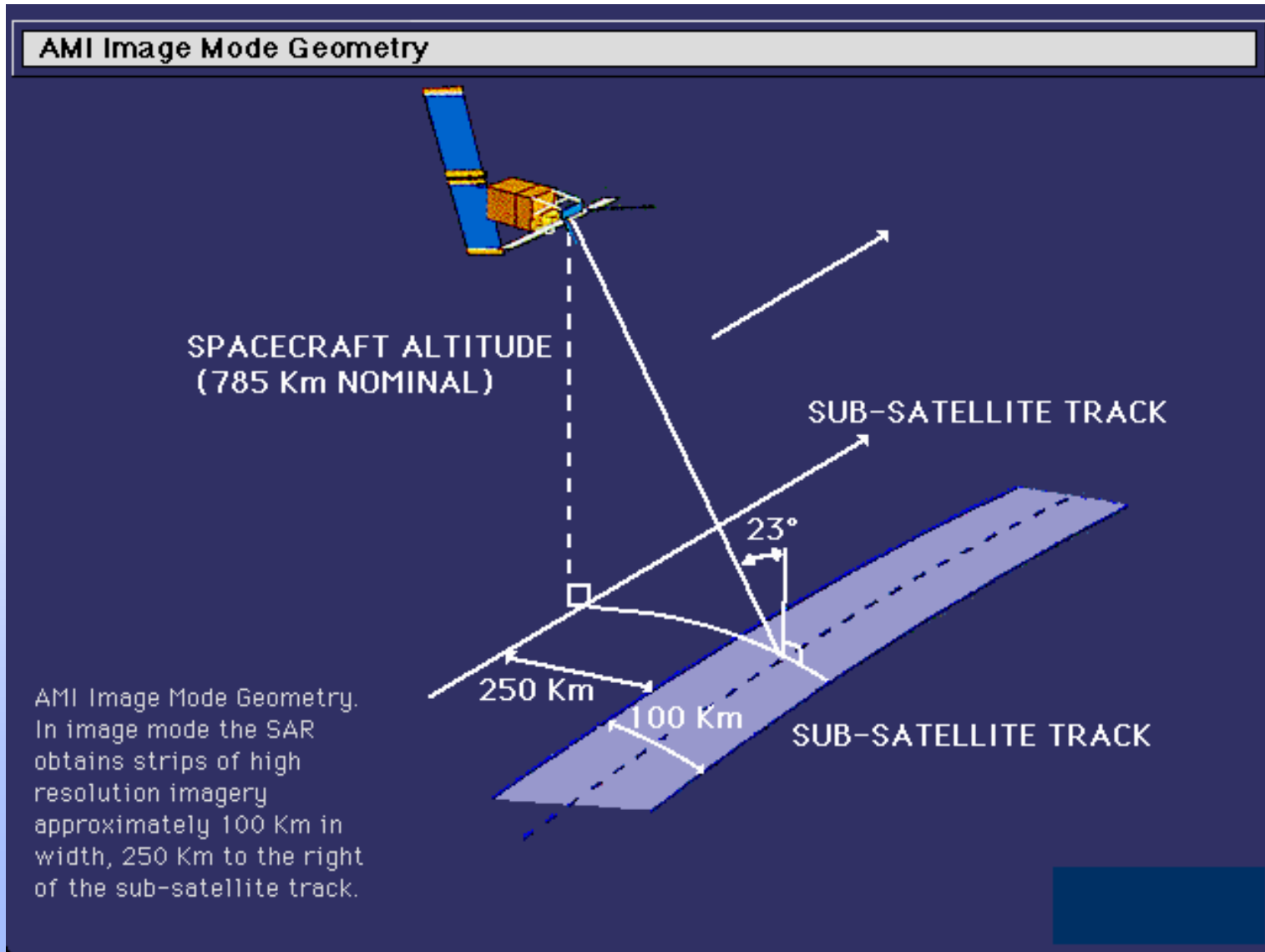
# Langs banen

Utsendte pulser og mottatte reflekser registreres nøyaktig med amplitude, fase og posisjoner. Dermed blir radarbildet "som om satellitten er tilstede samtidig over den aktuelle banedelen". Dette gir en stor "syntetisk aperture".

Syntetisk aperture

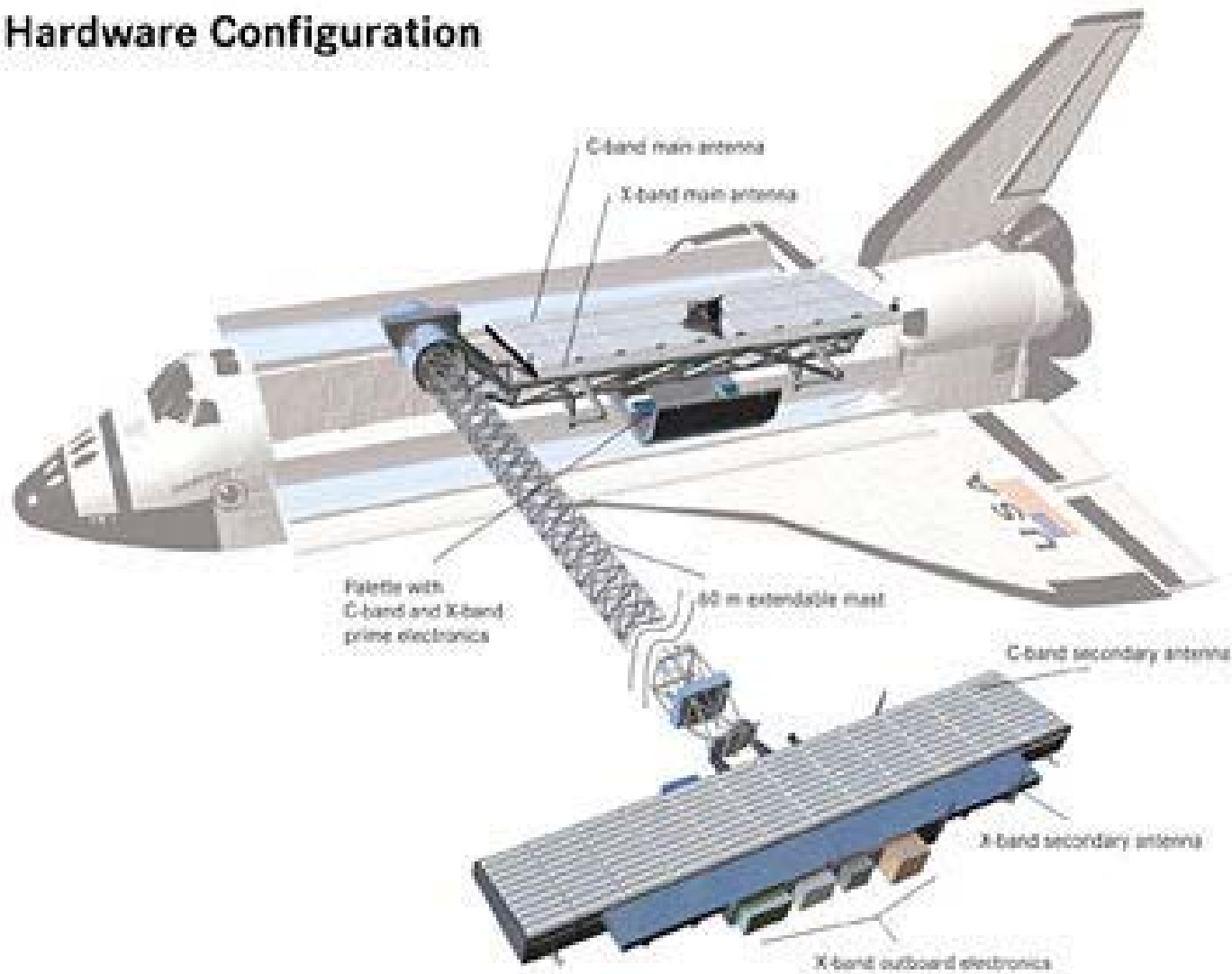


# Prinsippiell virkemåte SAR

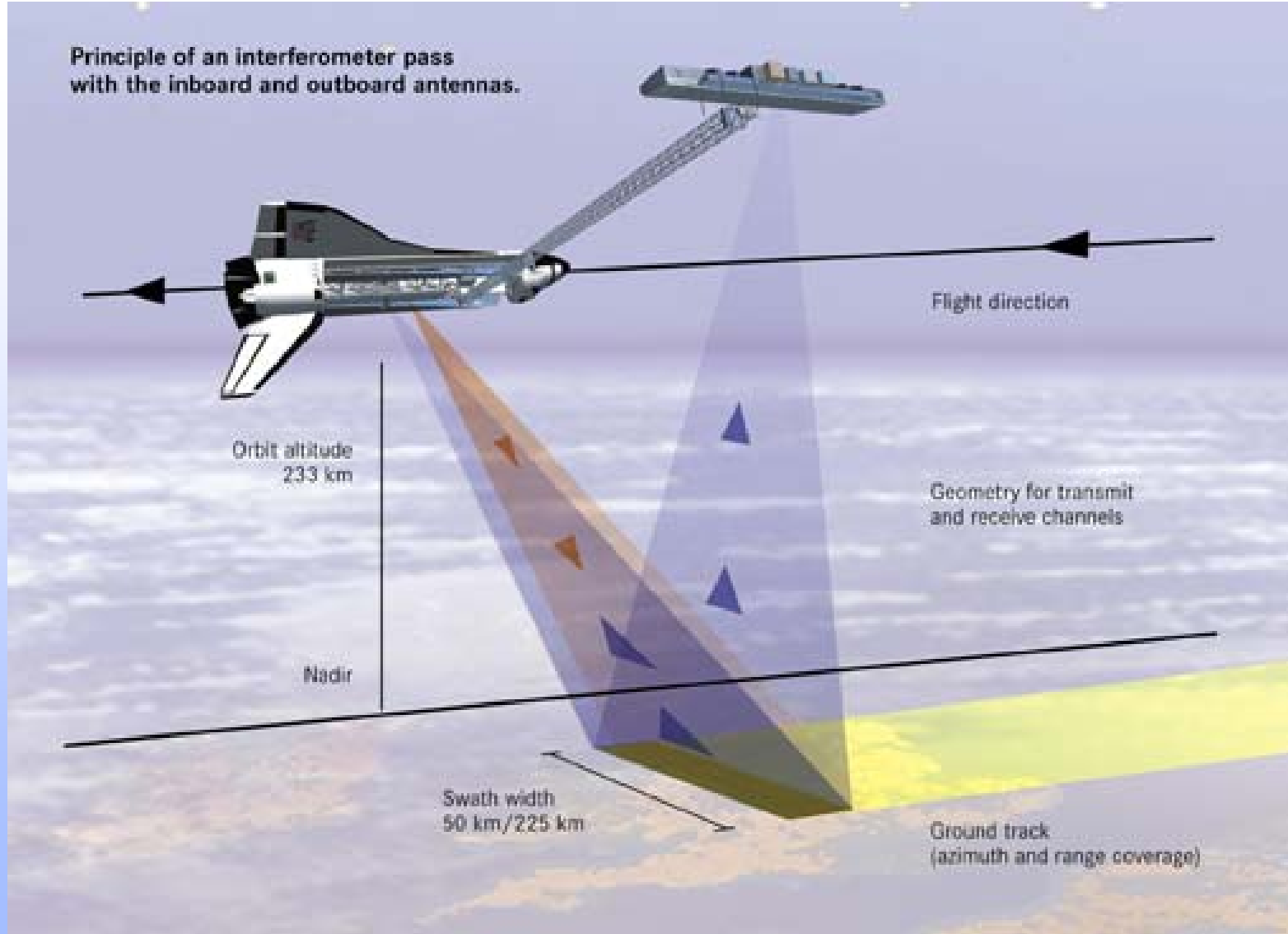


# Endavour med stereoradar

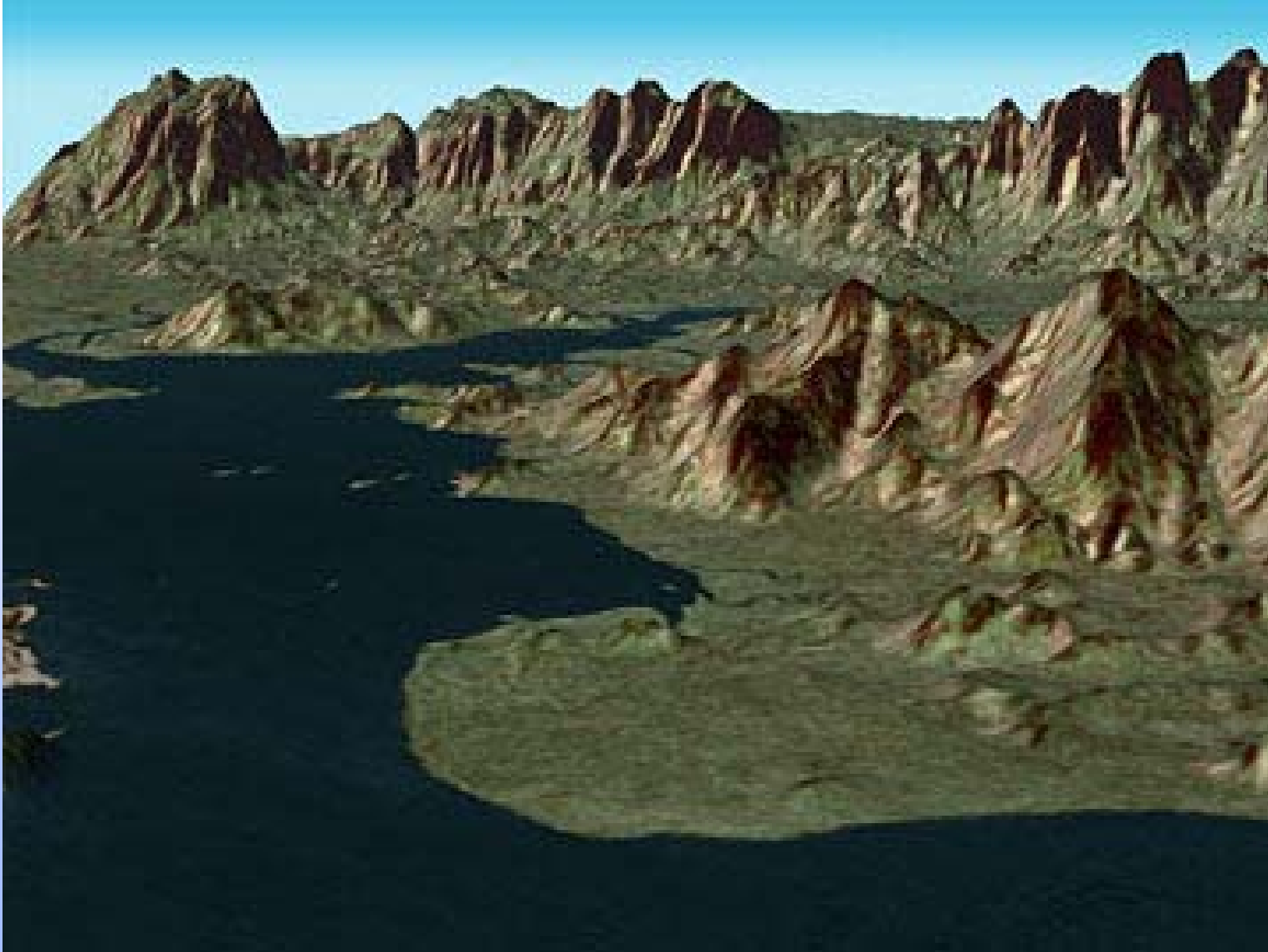
## Hardware Configuration



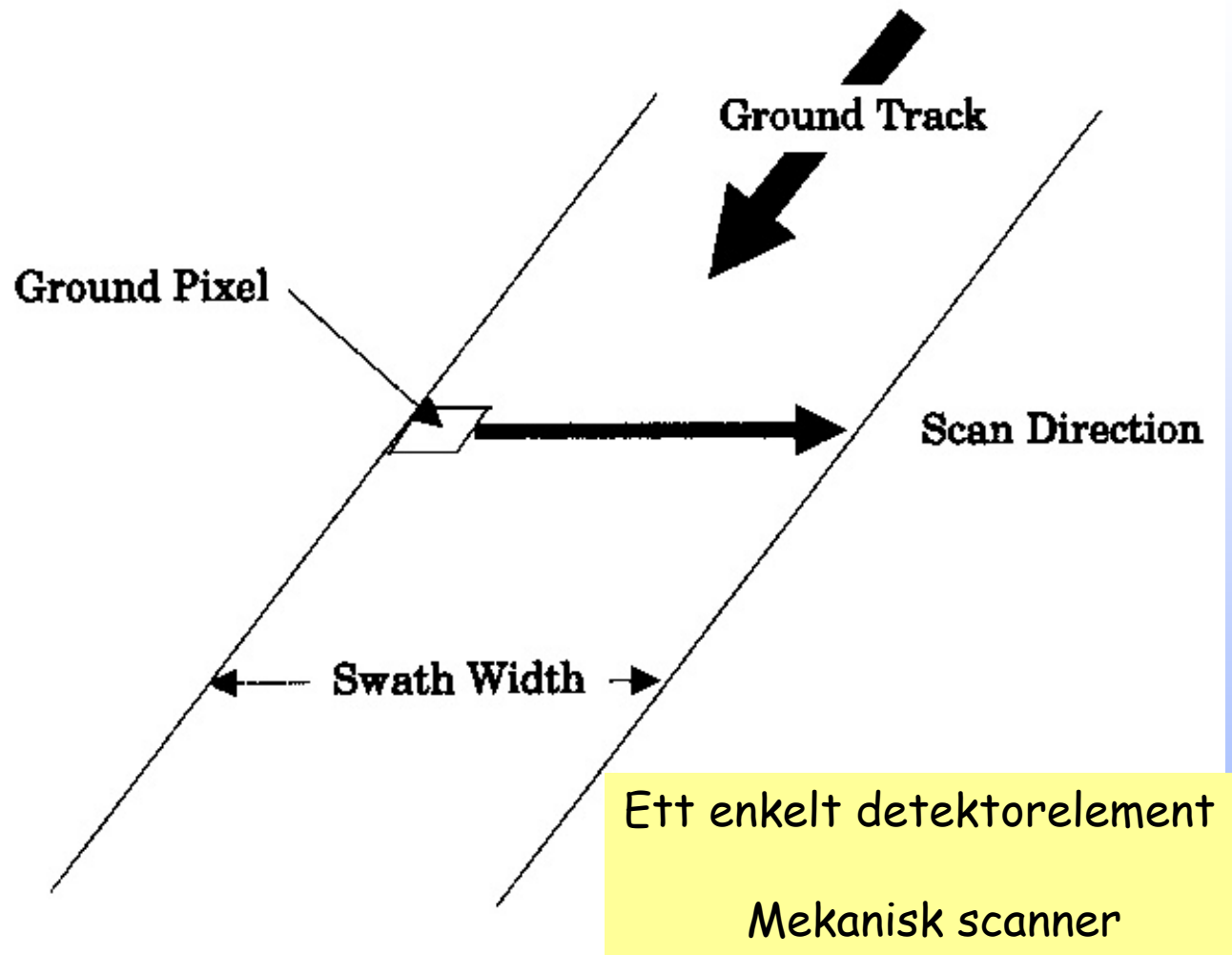
# Måling med SAR



# Eksempel på bilde

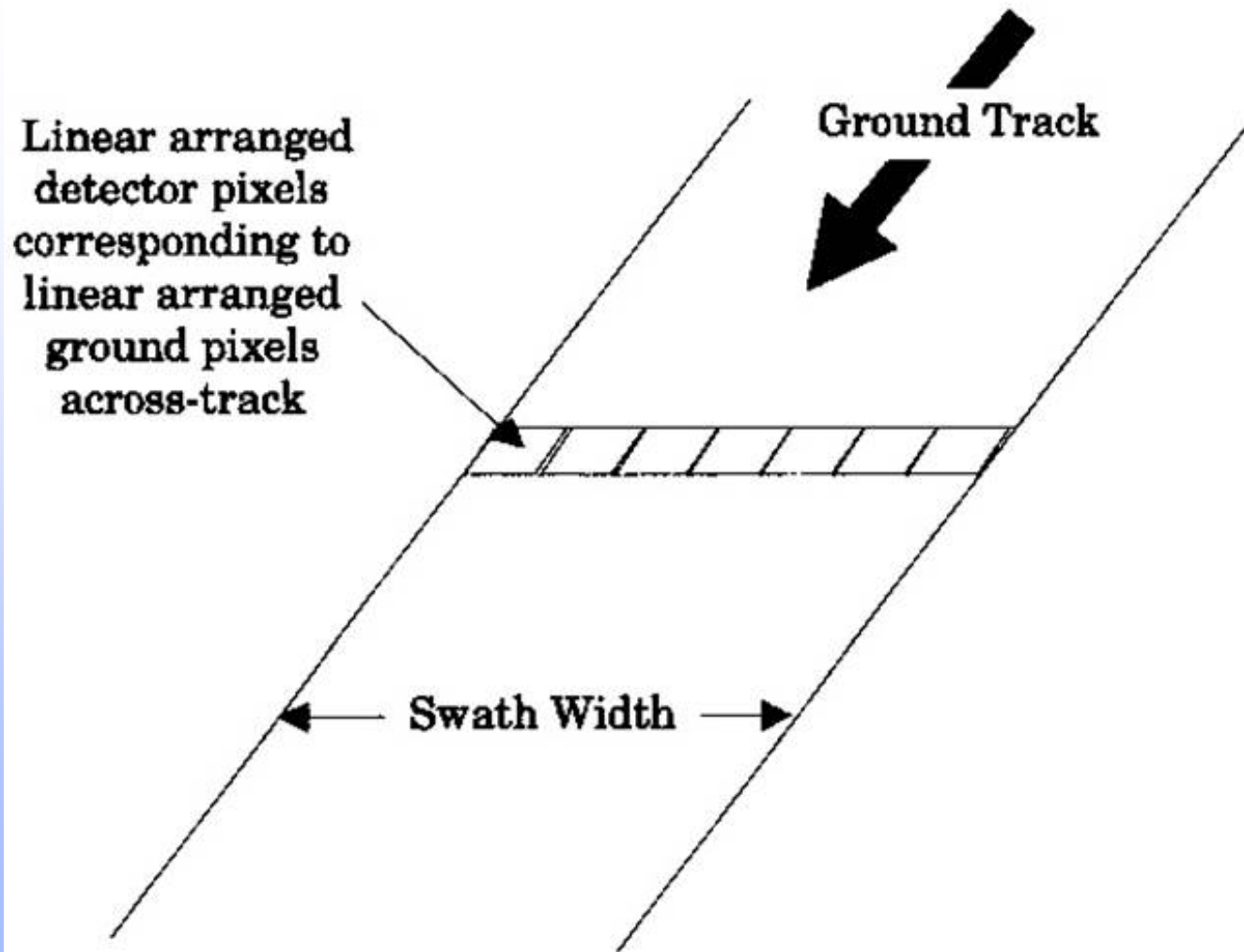


# Lineær scanning

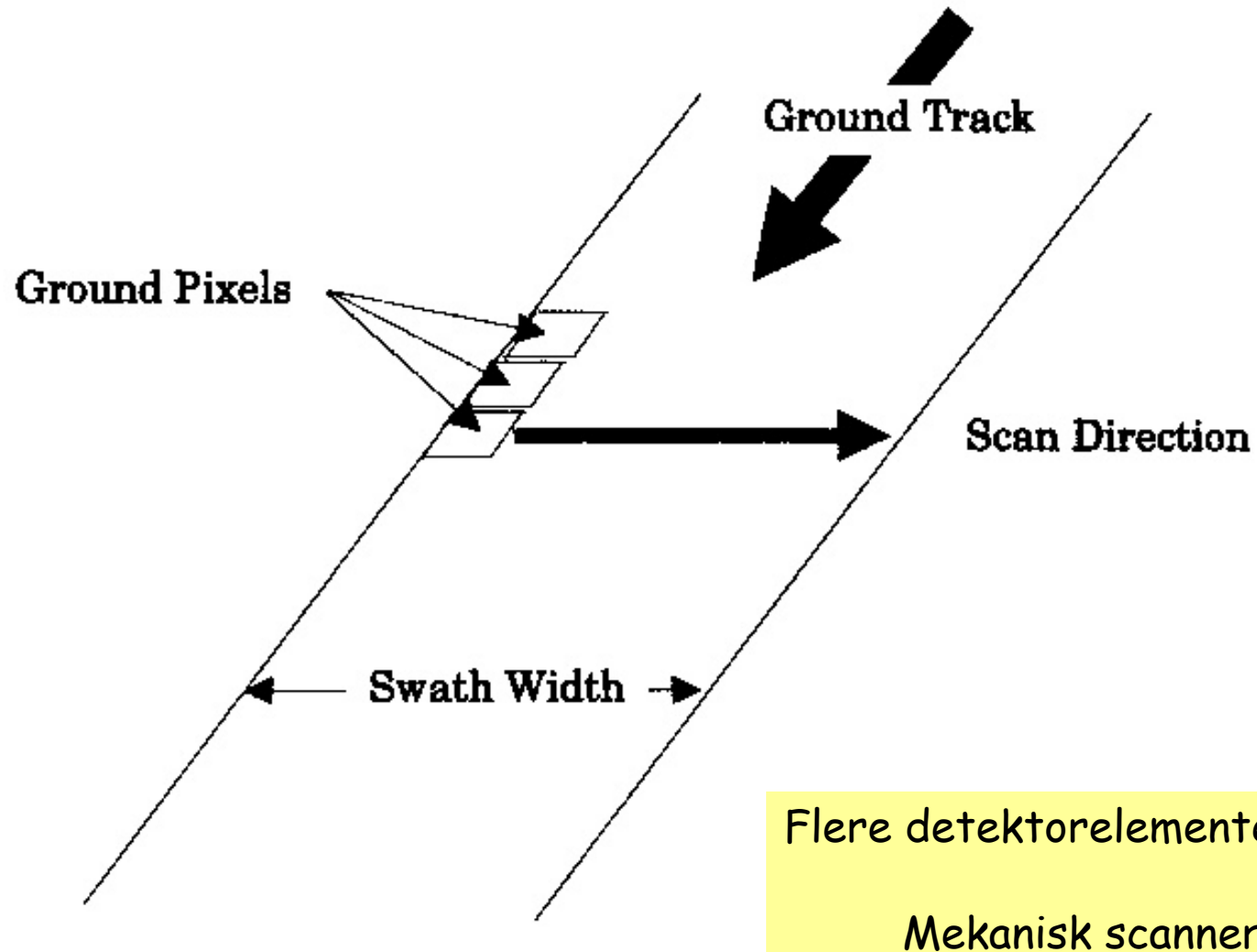




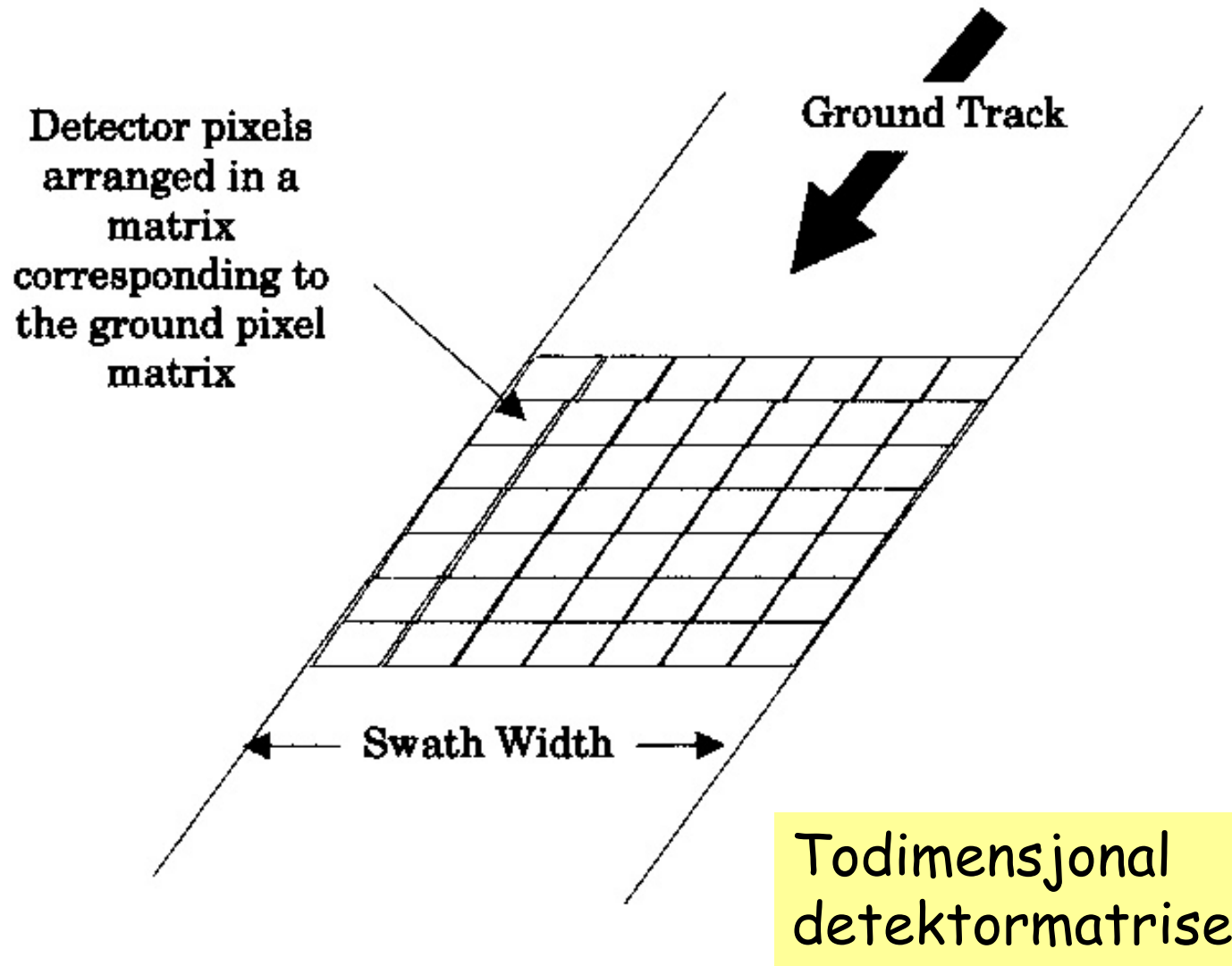
# Lineær detektor



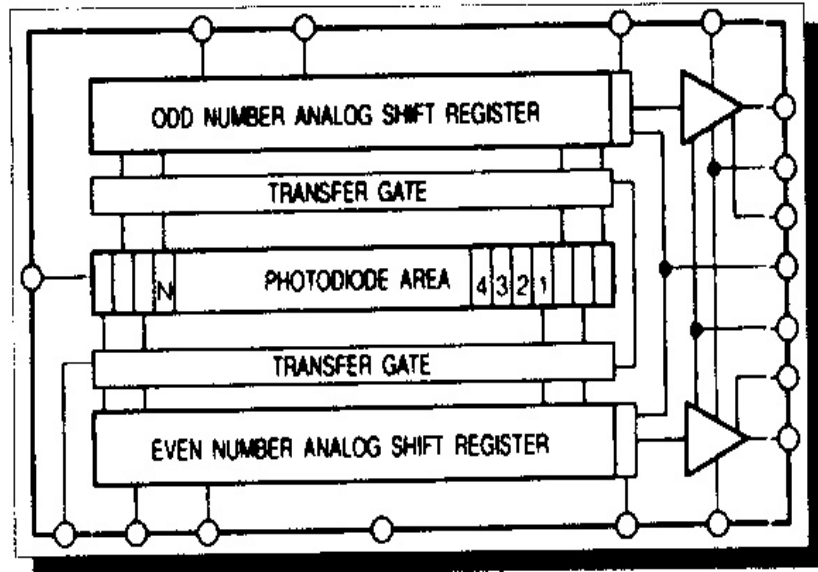
# Whisk Broom Scanner



# "Stop and stare"



# Detektorer



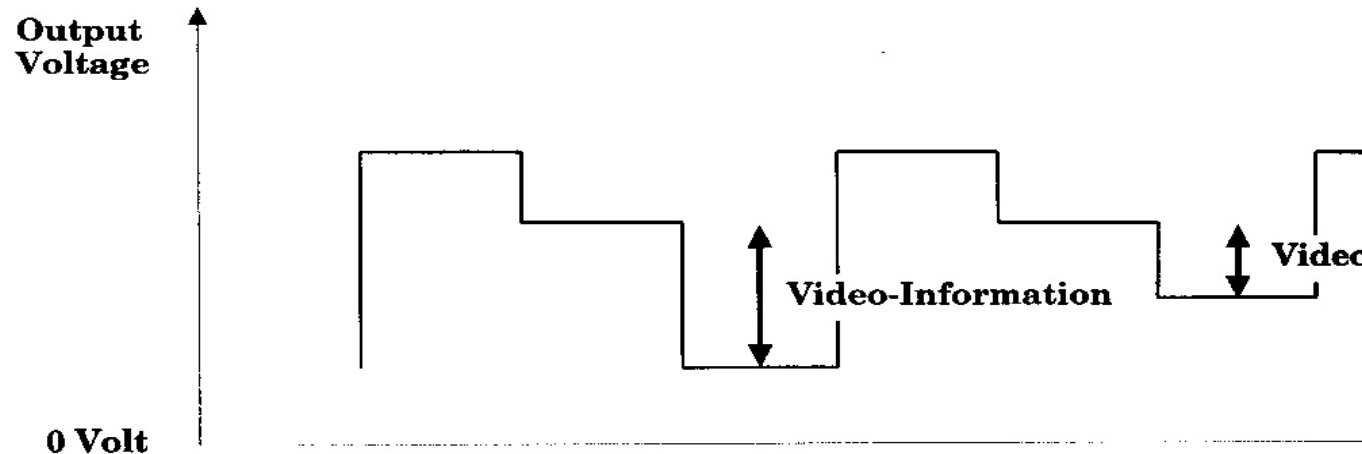
Silisiumdetektorer med en kombinasjon av lysfølsomme detektorer og elektronikk

Lineære array med 6000 til 12000 pixel.

Dynamikkområde 10000 (40 dB)

Utlесingshastighet 10 Ms/s

Romkvalifisert utstyr



# Matrise CCD (Charge Coupled Device)

---

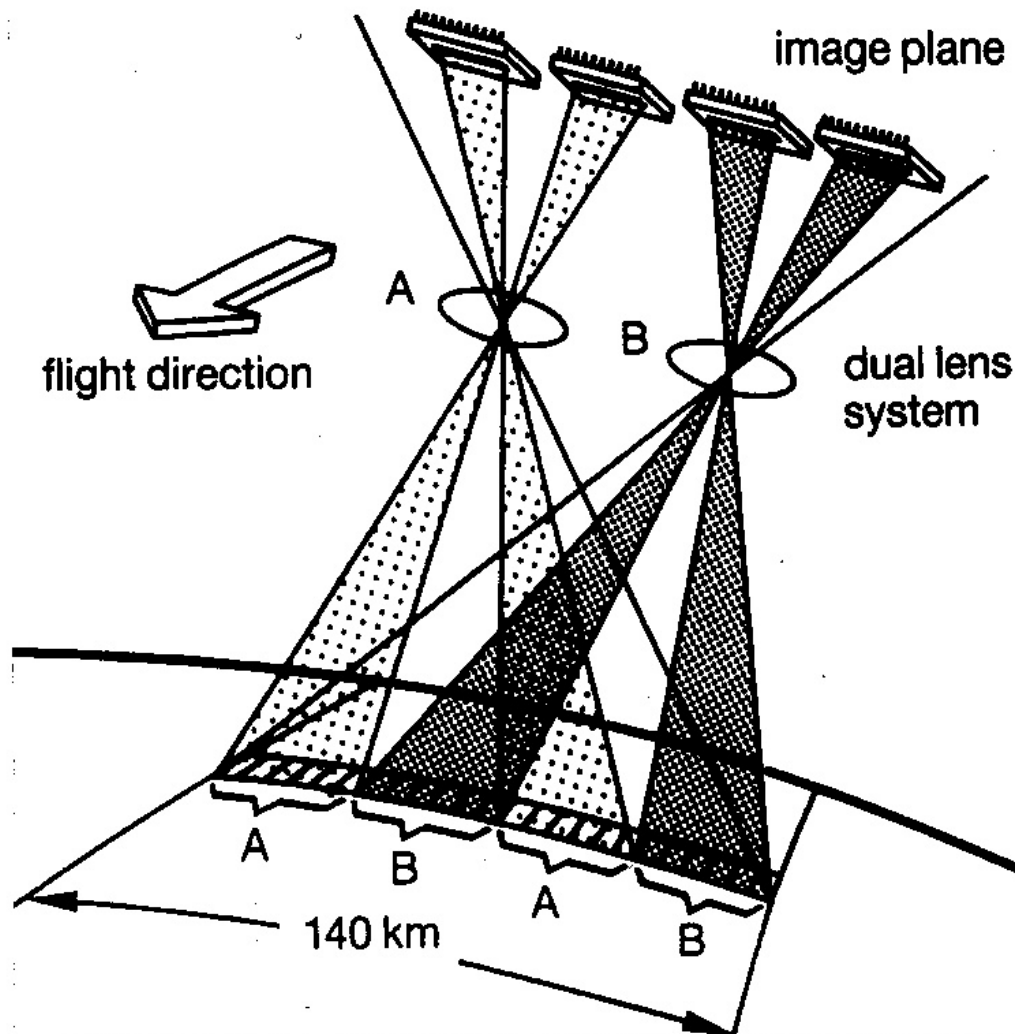
Lysfølsomme elementer overfører fotoner (lys) til elektroner (elektriske ladninger)

- Opp til 1024 x 1024 i rammeoverføringsmodus (space qualified)
- Godt dynamikkområde (5000)
- Dårlig fyllfaktor (25%) pga elektronikk per pixel
- Begrenset rammehastighet (60 Hz)

(CCD-elementet i et kamera med oppløsning på 1,3 megapixel har typisk dimensjon på 4,4 mm x 6,6 mm.)

# Arbeidsprinsipp (MOMS 1)

**M**odular **O**ptoelectronic **M**ultispectral **S**canner



**Banehøyde** 300 km

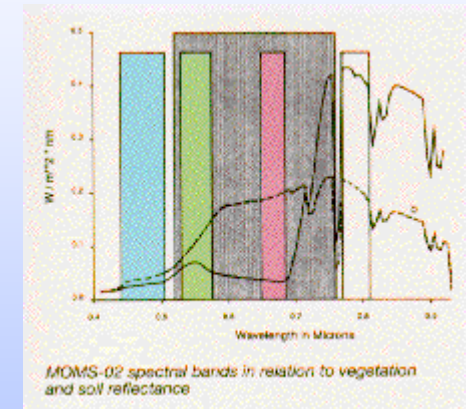
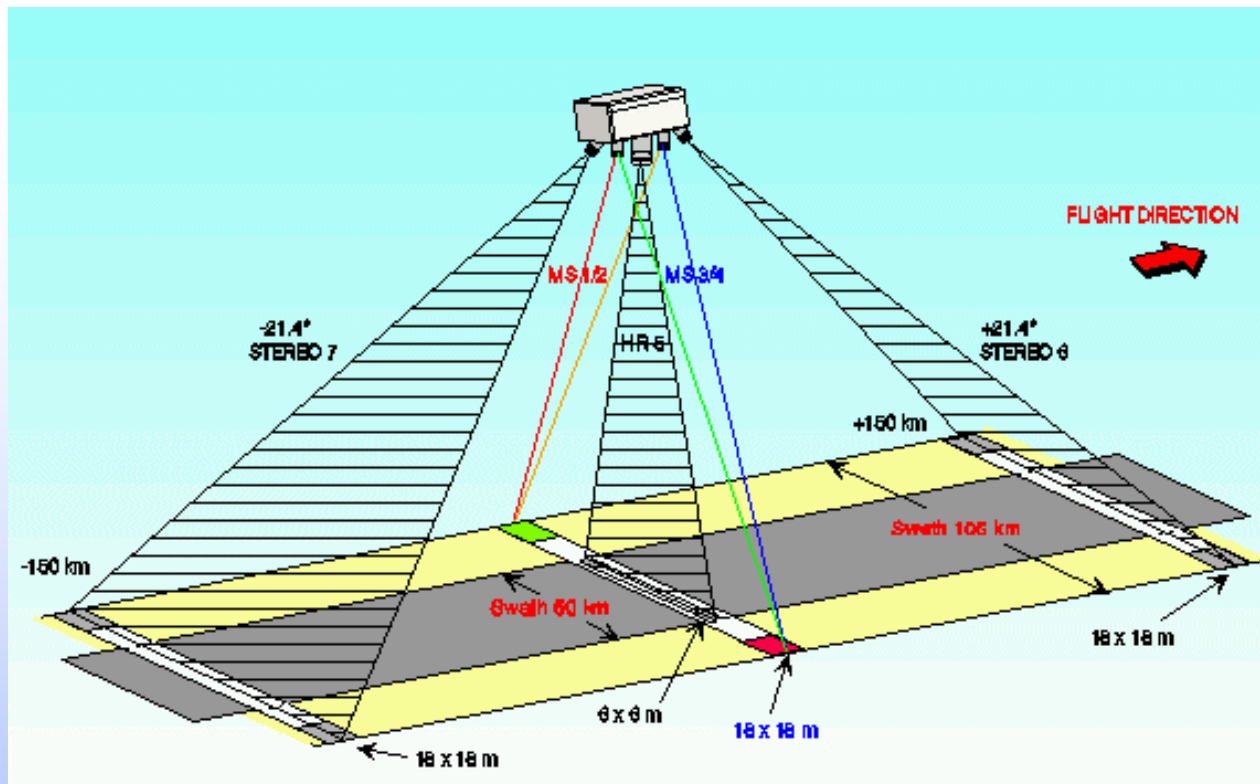
**Kanaler:** 575 - 625, 825 - 975 nm

**Oppløsning:** 20 20 meter

**Skårbredde:** 140 km 140 km

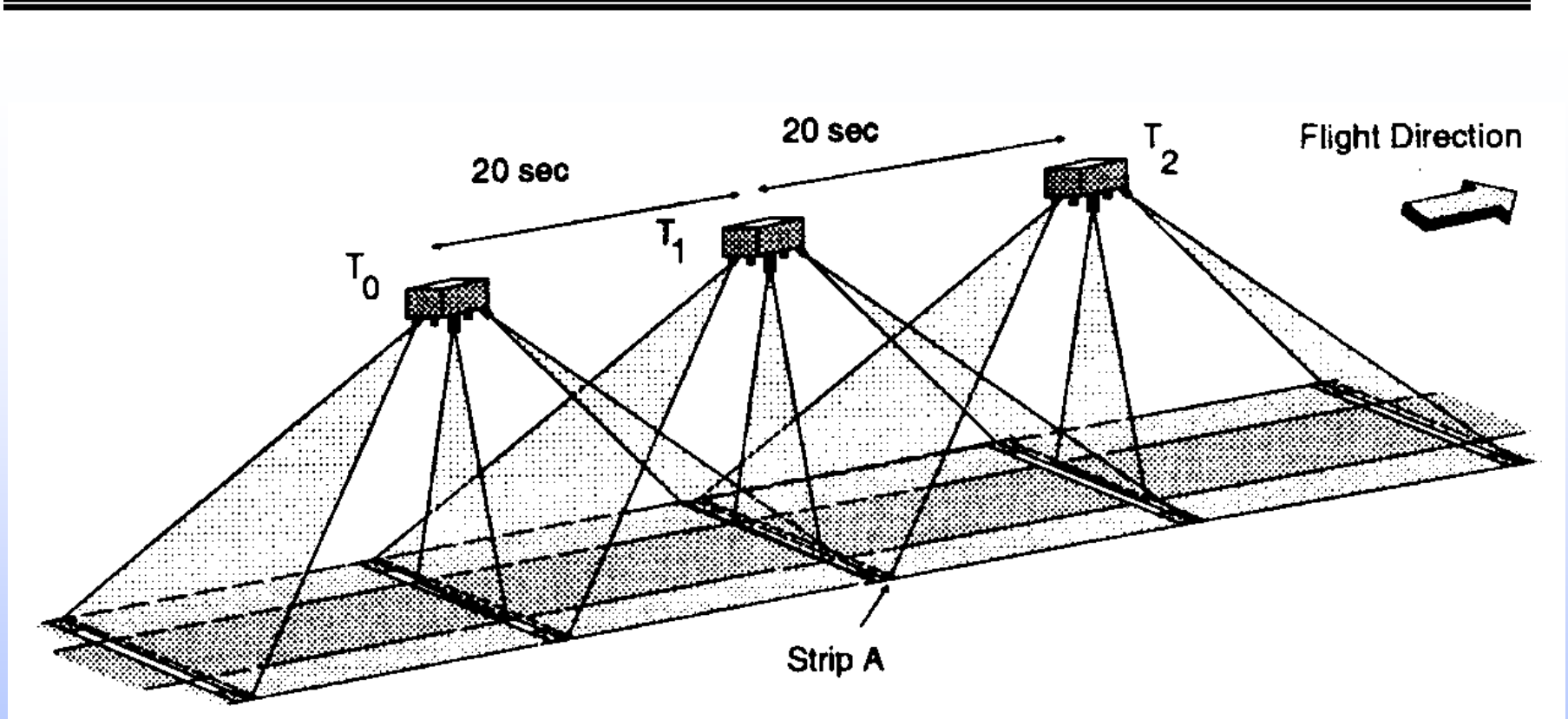
**Dynamikkområde:** 7 - 8 bit

# Kameraretninger for MOMS 2P.



Tre kameraer er rettet mot bakken rett under satellitten. To av dem, MS 1/2 og MS 3/4, dekker samme området med samme oppløsning og gir avbildning i alle de fire båndene. Oppløsning og bredde er som for Stereo 6 og 7. Et tredje kamera, HR5, som dekker bølgelengdeområdet 512 til 765 nm, merket pankromatisk, avbilder bakken rett under satellitten med en pixeldimensjon på  $4,5 \times 4,5$  meter langs satellittbanen. Stereobilder blir skapt ved at samme område på bakken avbildes fra to ulike posisjoner. Etter 20 sekund dekker bakre kamera Stereo 7 det området som forreste kamera Stereo 6 dekket for 20 sekunder siden..

# Stereoavbildning





# Kanaler for forskjellig farge

Channel	Mode	Orientation	Band Width	Ground Pixel
1	M/S	Nadir	449 - 511 nm	18 x 18m
2	M/S	Nadir	532 - 576 nm	18 x 18m
3	M/S	Nadir	645 - 677 nm	18 x 18m
4	M/S	Nadir	772 - 815 nm	18 x 18m
5	HR	Nadir	512 - 765 nm	6 x 6 m
6	Stereo	+21.4°	524 - 763 nm	18 x 18m
7	Stereo	-21.4°	524 - 763 nm	18 x 18m

# Det første bildet med MOMS 2



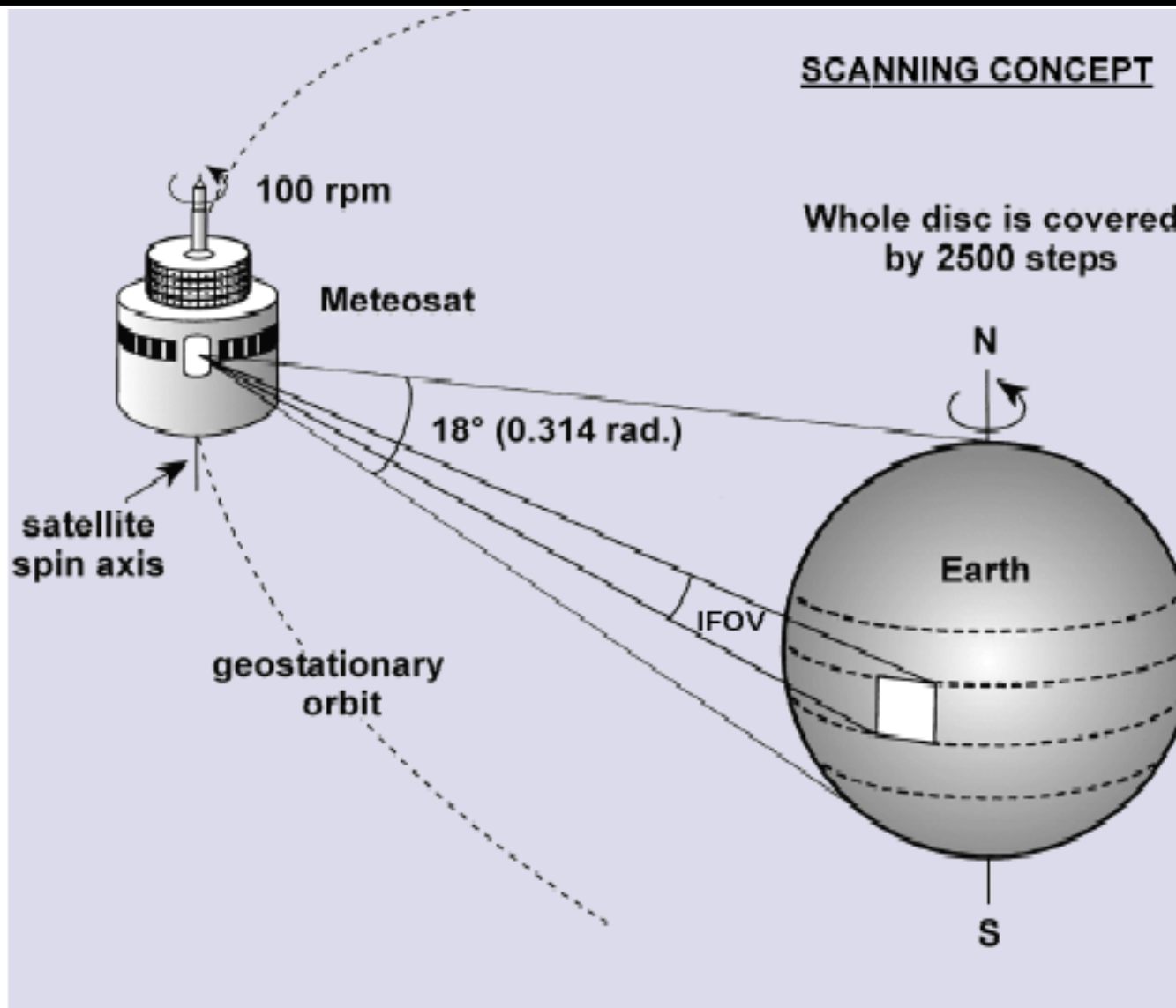
MOMS-2P Southern Spain high resolution draped over relative DEM  
imaged 22Oct96 mode A (panchromatic stereo, channels 5,6,7)



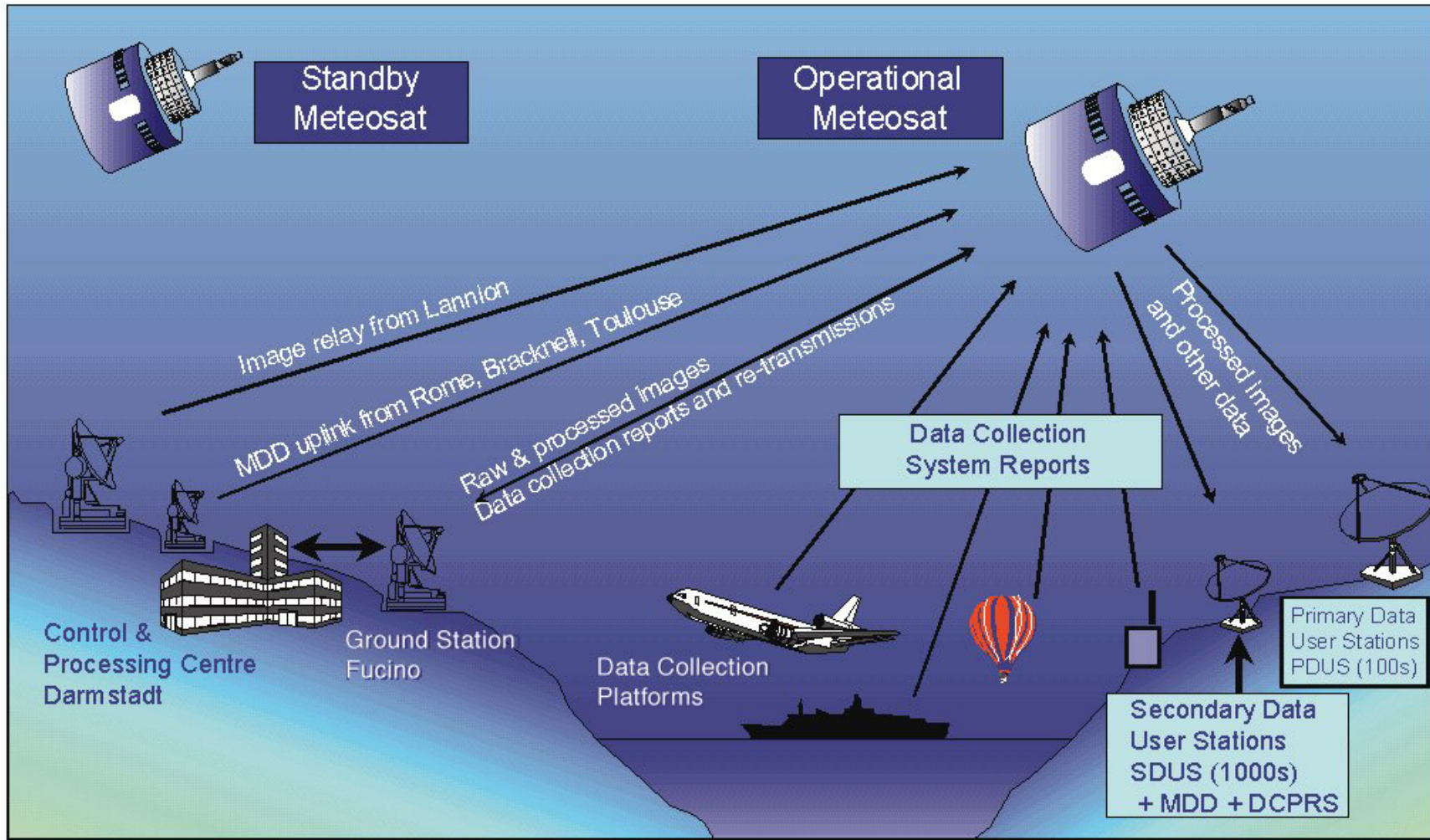
---

# Værsatellitter

# Prinsipp for Meteosat



# Meteosat-systemet

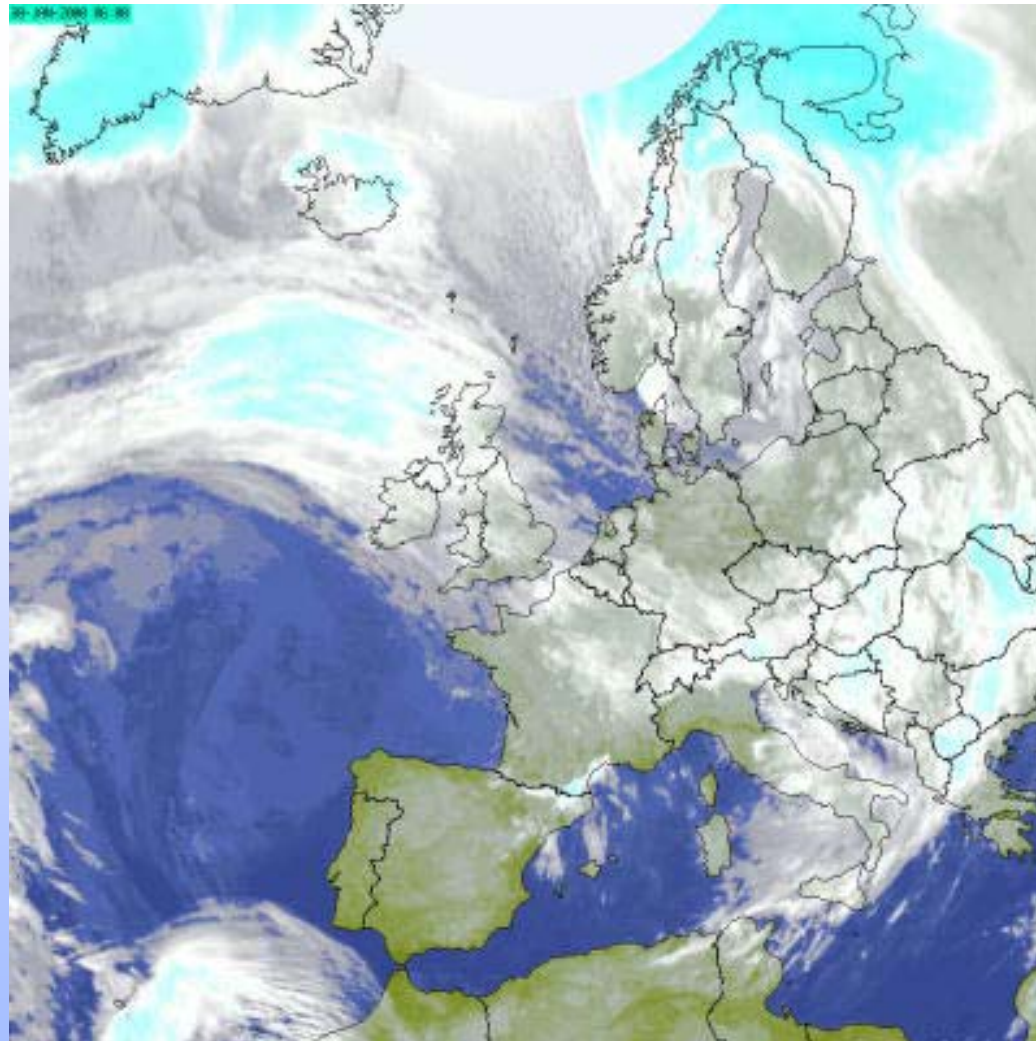


EUMETSAT Ground System 1998





# Værkart



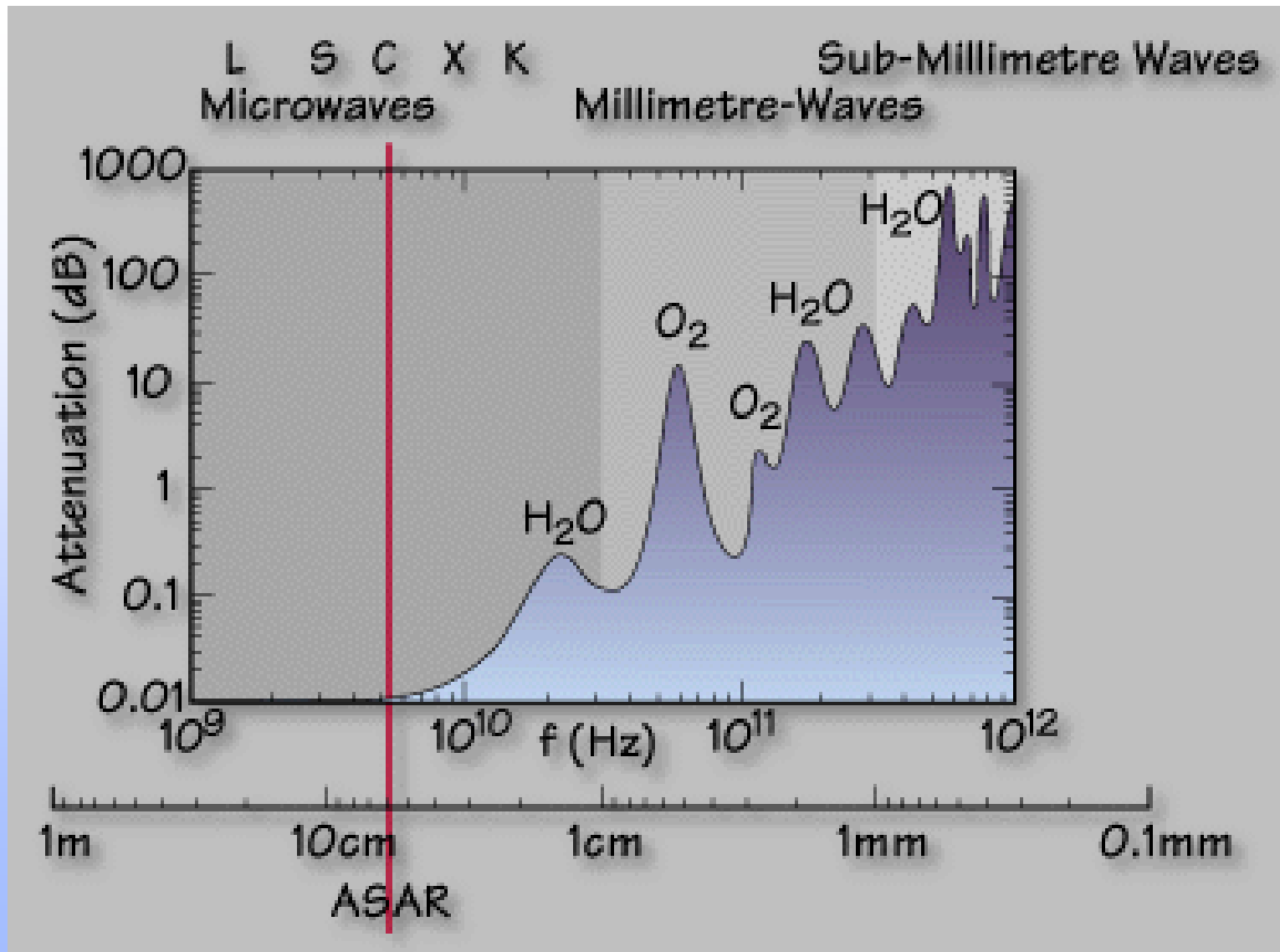
# Radiometri

---

# Mikrobølgeradiometri

Radiometri er utstråling av elektromagnetisk energi, mens fotometri omfatter den utstråling som oppfattes av det menneskelige øye.

# Atmosfærisk vindu, mikrobølger





# Utstråling

Mikrobølgeradiometri først utviklet for studiet av signalkilder i rommet

1962: Mariner 2, studier av Venus

1972: Nimbus-3, studier av atmosfæren på jorda,  
Electrically-Scanned Microwave radiometer (ESMR)  
Måling av bl.a. regnintensitet, snø, is

Et svart legeme er et ideelt materiale som absorberer all innfallende stråling.

En perfekt absorbent er også perfekt når det gjelder utstråling.

Plancks lov:

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \left( \frac{1}{e^{hf/kT} - 1} \right)$$

$B_f$  = spektral intensitet, i Watt/m<sup>2</sup>/sr/Hz hvor  
sr er romvinkel i steradianer

$h$  = Plancks konstant,  $6,63 \times 10^{-23}$  Watt/K/Hz

$f$  = frekvens

$k$  = Boltzmanns konstant,  $1,38 \times 10^{-23}$  Watt/K/Hz

$T$  = absolutt temperatur

$c$  = lyshastigheten, 300 000 km/s

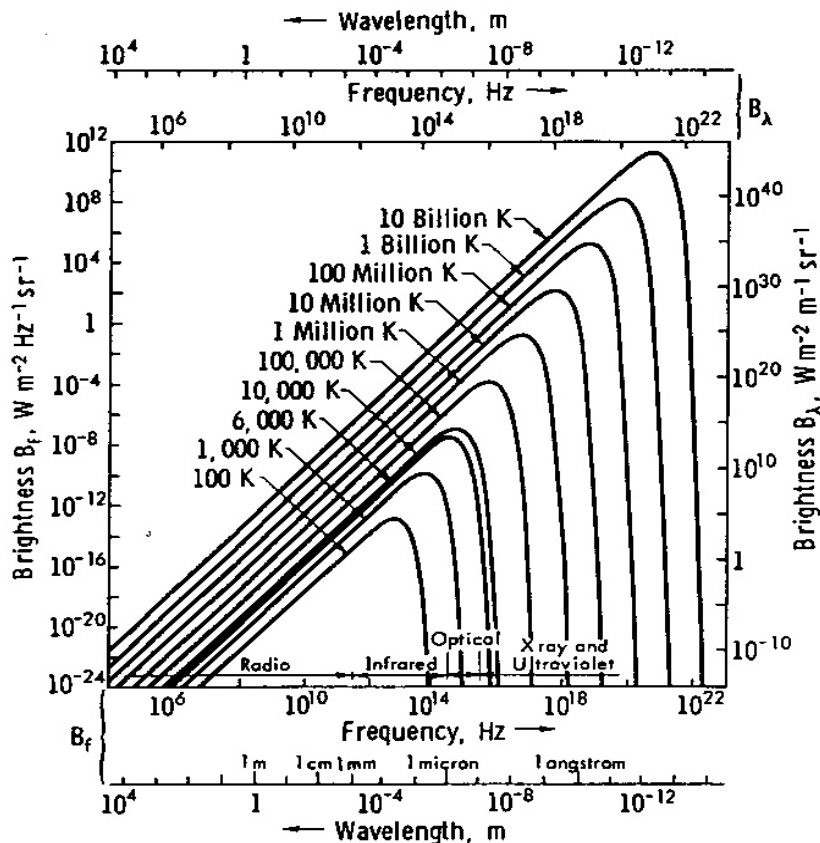
# Plancks strålingslov

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \left( \frac{1}{e^{hf/kT} - 1} \right)$$

Total intensitet over hele spektret:

Stephan-Bolzmanns lov:

$$B = \frac{\sigma T^4}{\pi} \text{ Watt/m}^2 / \text{sr}$$



Wiens forskyvningslov  
(ved derivasjon av Plancks lov):

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \mu\text{m}$$

# Hva ser vi?

Hvitt lys som treffer et legeme vil delvis bli absorbert og delvis reflektert. Spektret for det reflekterte signalet bestemmer det vi oppfatter som **farge**.

Grønt gress absorberer alle fargene unntatt grønt. Brune blad absorberer alle fargene unntatt brunt. Absorpsjonsspektret kan brukes til å karakterisere materialet.

Detaljerte analyser kan gi informasjon om tilstanden for vegetasjon, hva som vokser, innholdet av fuktighet, soppangrep og lignende.

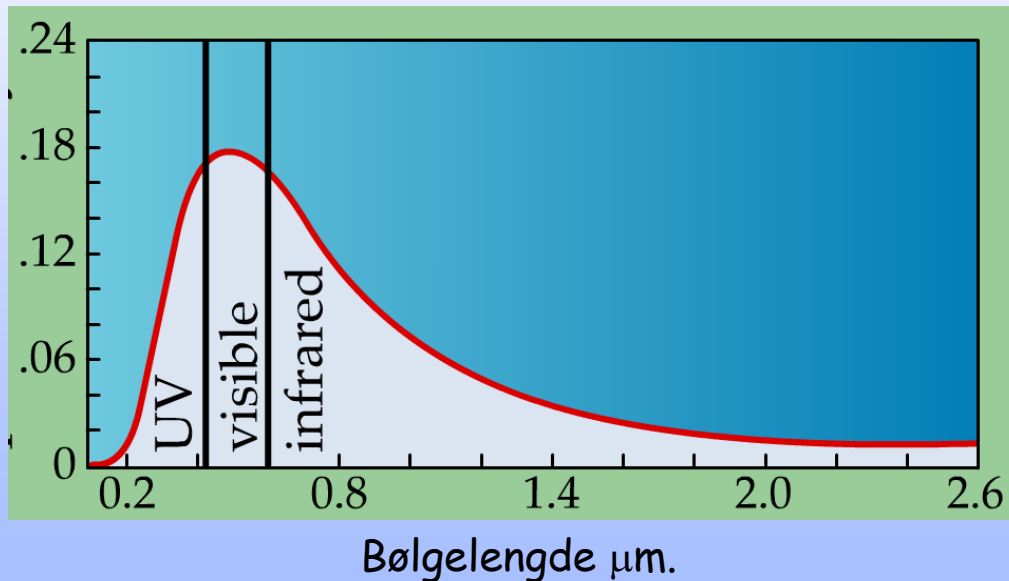
- Gjenstander kan også stråle ut elektromagnetiske bølger, avhengig av temperatur, for eksempel glødende metall.
- Sola som har en temperatur på 6000 K sender ut solskinn.
- Jorda, som har en temperatur på ca 300 K sender ut "jordskinn".
- Alle som har en temperatur over 0 K, også du, sender ut elektromagnetisk stråling.
- Bølgelengden er bestemt av temperaturen.

# Wiens lov

**Wiens lov:** Bølgelengden for maksimal spektral utstråling,  $\lambda_{\max}$ , fra et svart legeme er bare gitt av den absolutte temperaturen,  $T$ .

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T} \mu\text{m}$$

Denne loven kan vi bruke for å bestemme frekvensen for mottakeren (detektoren) som skal observere bestemte fenomener.



Figuren viser effektspektret for sollys.

Maksimum ligger på  $\lambda = 0.483 \mu\text{m}$ .

Hva er temperaturen på sola?

$$T = \frac{2898}{0.483} = 6000 \text{ K, eller } 5700 \text{ C}$$

# Effektutstråling

---

**Stefan-Bolzmanns lov** sier at den energien so stråles ut fra et legene er bestemt av materialegenskapene for legemet og av temperaturen.

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

$E$  = utstrålt effekt i Watt per kvadratmeter

$\varepsilon$  = emisjonskoeffisienten for legemet

$\sigma$  = Stefan-Bolzmanns konstant,  $5,67 \cdot 10^{-8}$  Watt/m<sup>2</sup>/K<sup>4</sup>

# Strålingslover (forts)

Wiens strålingslov,  
gjelder for korte bølgelengder:

$$B_f = \frac{2hf^3}{c^2} \cdot e^{-hf/kT}$$

Rayleigh-Jeans strålingslov,  
gjelder for lave frekvenser:

$$B_f = \frac{2kT}{\lambda^2}$$

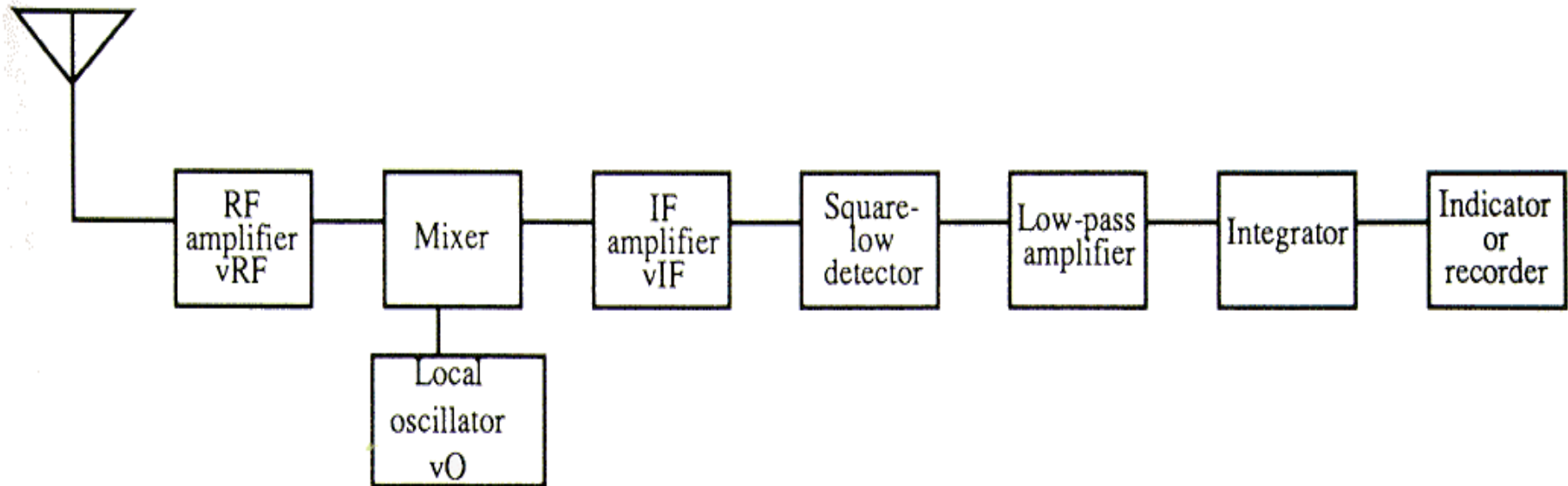
Effekt  $P$  mottatt av en mottaker med  
båndbredde  $B$  Hz er gitt av :

$$P = kT_A B$$

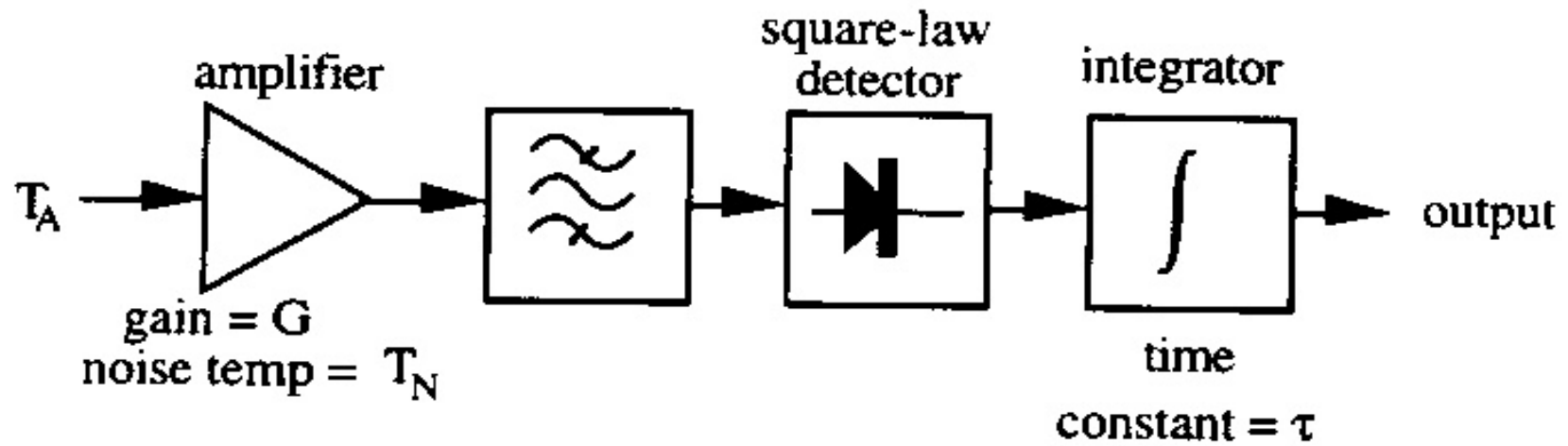
Den radiometriske antenntemperaturen,  $T_A$   
er definert ved

$$T_A = \frac{\iint T_{AP}(\theta, \phi) F_n(\theta, \phi) \cdot d\Omega}{\iint_{4\pi} F_n(\theta, \phi) \cdot d\Omega}$$

# Radiometri



# Radiometriske instrumenter



Utgangsspenninga fra detektoren er proporsjonal  $G(T_A + T_N)$

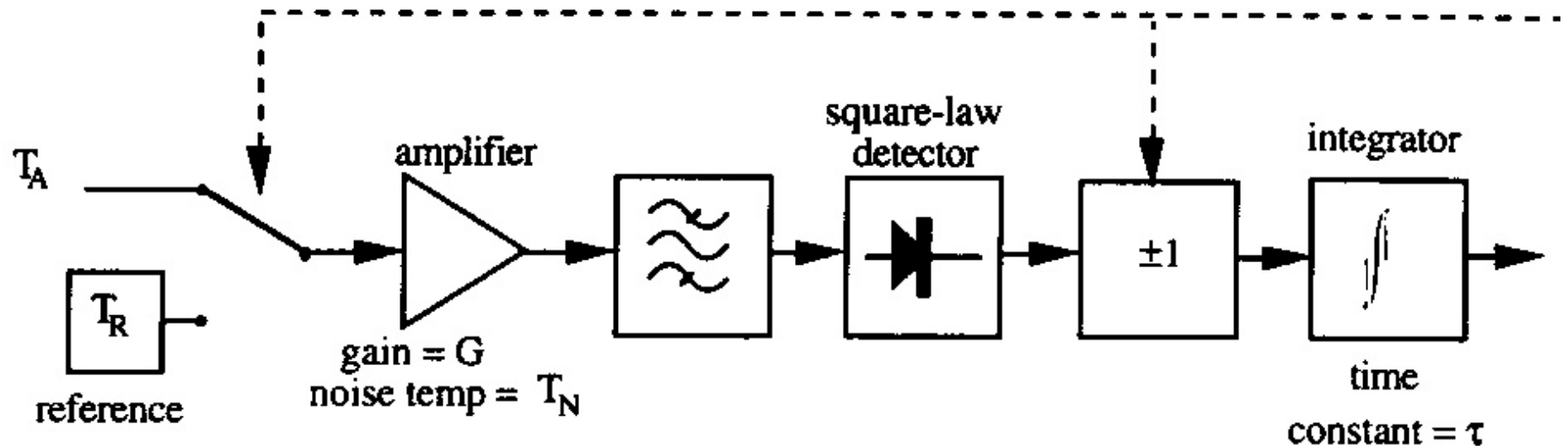
Følsomheten er gitt av 
$$\Delta T = \frac{T_A + T_N}{\sqrt{B\tau}}$$

Ulempe:

Variasjon av forsterkning  $G$  og støytemperatur  $T_N$  gir feil verdi for  $T_A$ .



# Dicke-radiometer



Inngangen er vekselvis knyttet til antenna med temperatur  $T_A$  og til en referanse med støytemperatur  $T_R$ .

Tilkoblet antenne:  $V_{ut} = c (T_A + T_N) G$

Tilkoblet referanse:  $V_{ut} = -c (T_A + T_R) G$

Ved rask veksling, typisk 1 kHz:

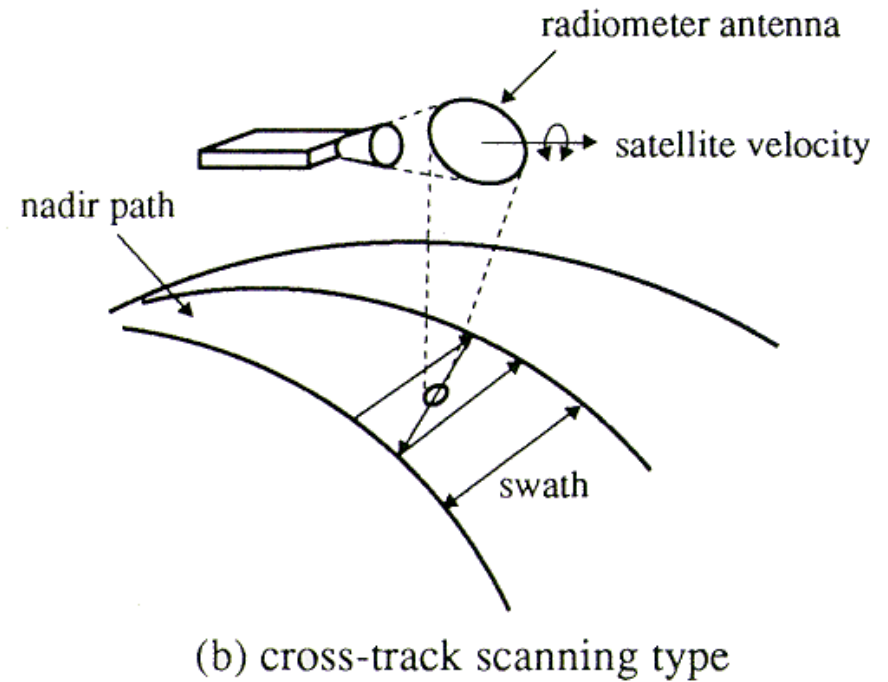
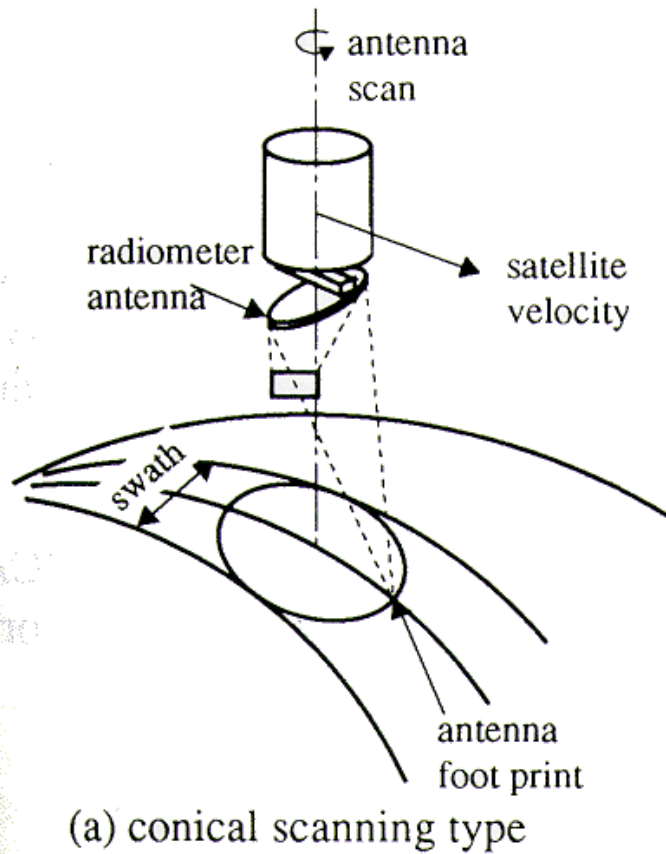
$$\begin{aligned} V_{ut} &= V_1 + V_2 \\ &= c(T_A + T_N) G - c(T_A + T_R) G \\ &= c(T_A - T_R) G \end{aligned}$$

Støytemperaturen for radiometeret er nå eliminert.  
Følsomheten er redusert pga redusert integrasjonstid

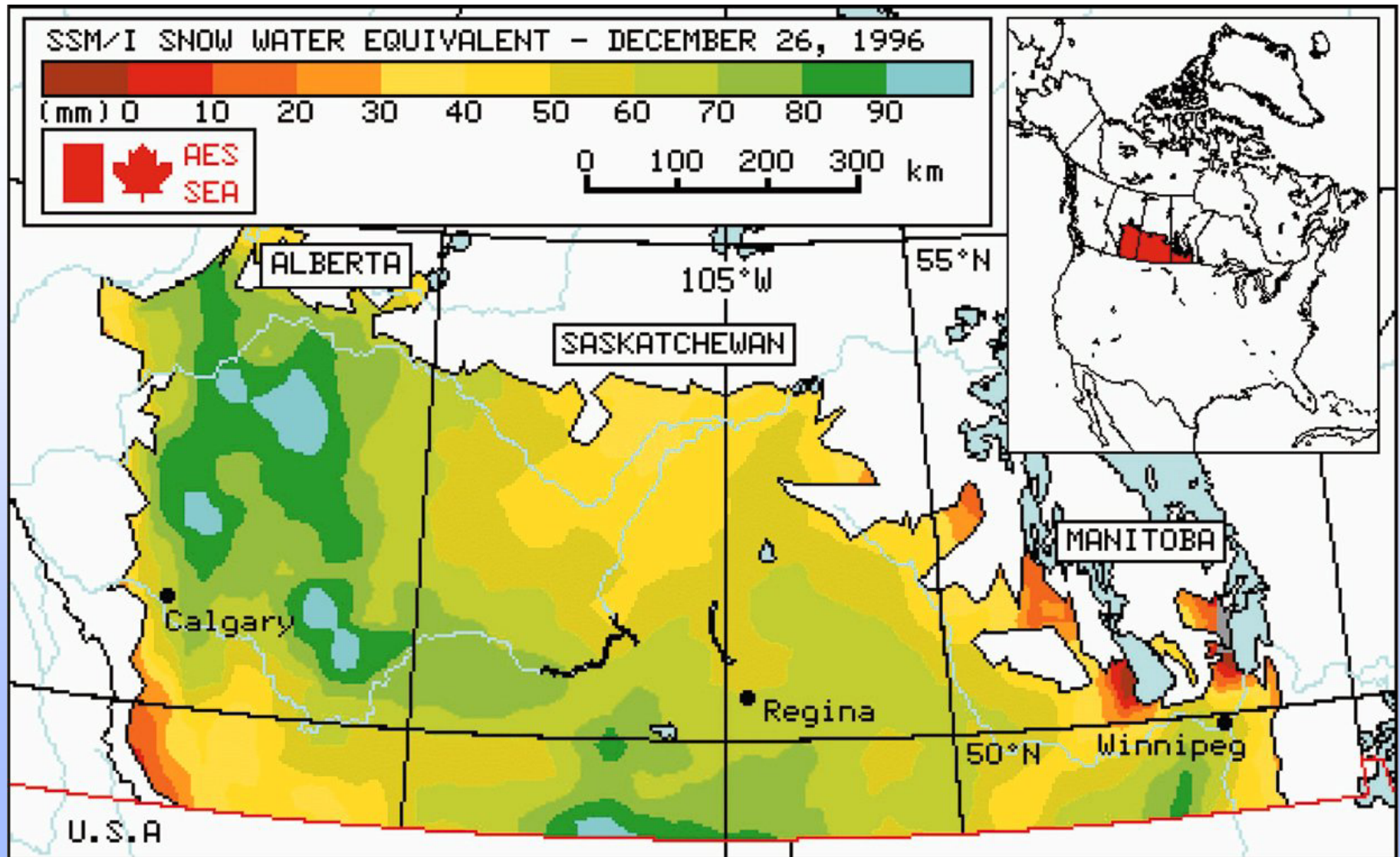
## Radiometer i amerikansk met. satellitt

Frequency	19.35 Ghz +/- 50 MHz	22.235 Ghz +/- 50 MHz	37.0 Ghz +/- 100 MHz	85.5 Ghz +/- 300 MHz
Polarization	H et V	V	H et V	H et V
$\Delta T_{min}$	0.8 K	0.8 K	0.6 K	1.1 K
Integration time	7.95 ms	7.95 ms	7.95 ms	3.89 ms
Radiometric precision	1.5 K	1.5 K	1.5 K	1.5 K
Spatial resolution (km)	70x45	60x40	38x30	16x14

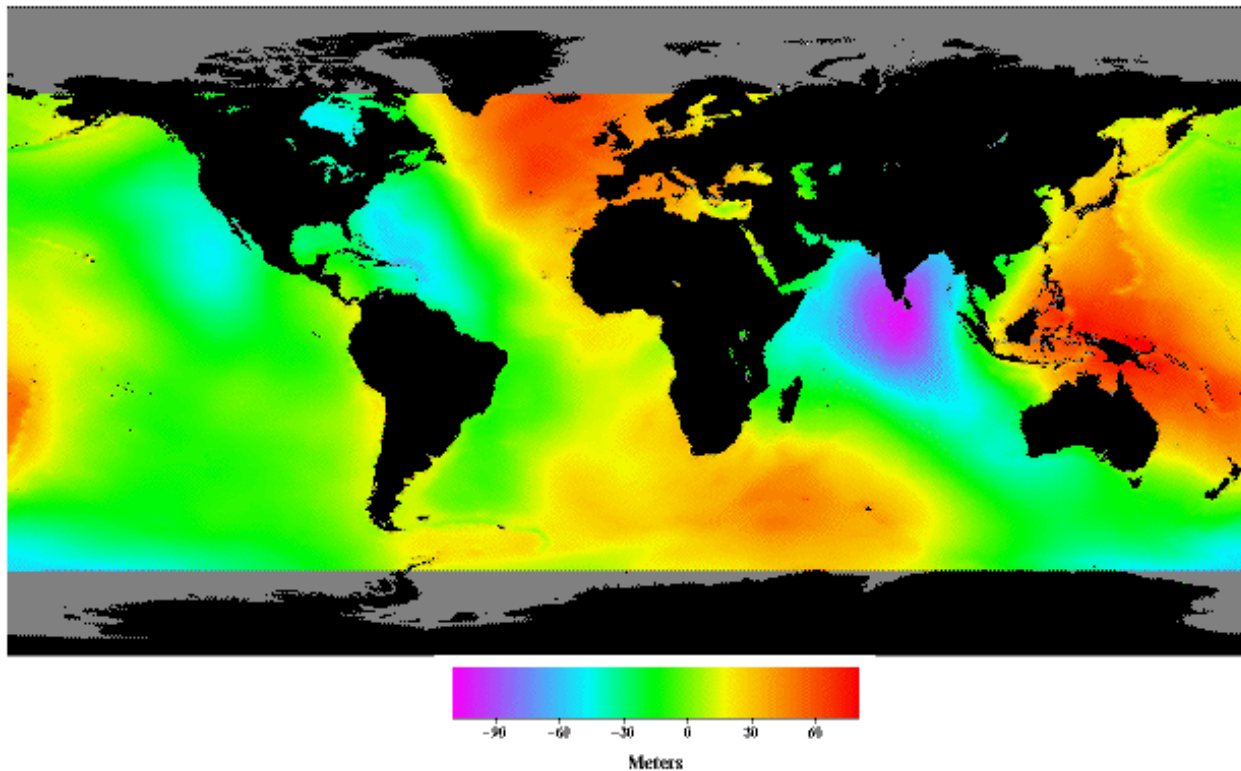
# Radiometer scanning



# Måling av snødybde med DMSP SSSM/I



# Radarmøydemåler

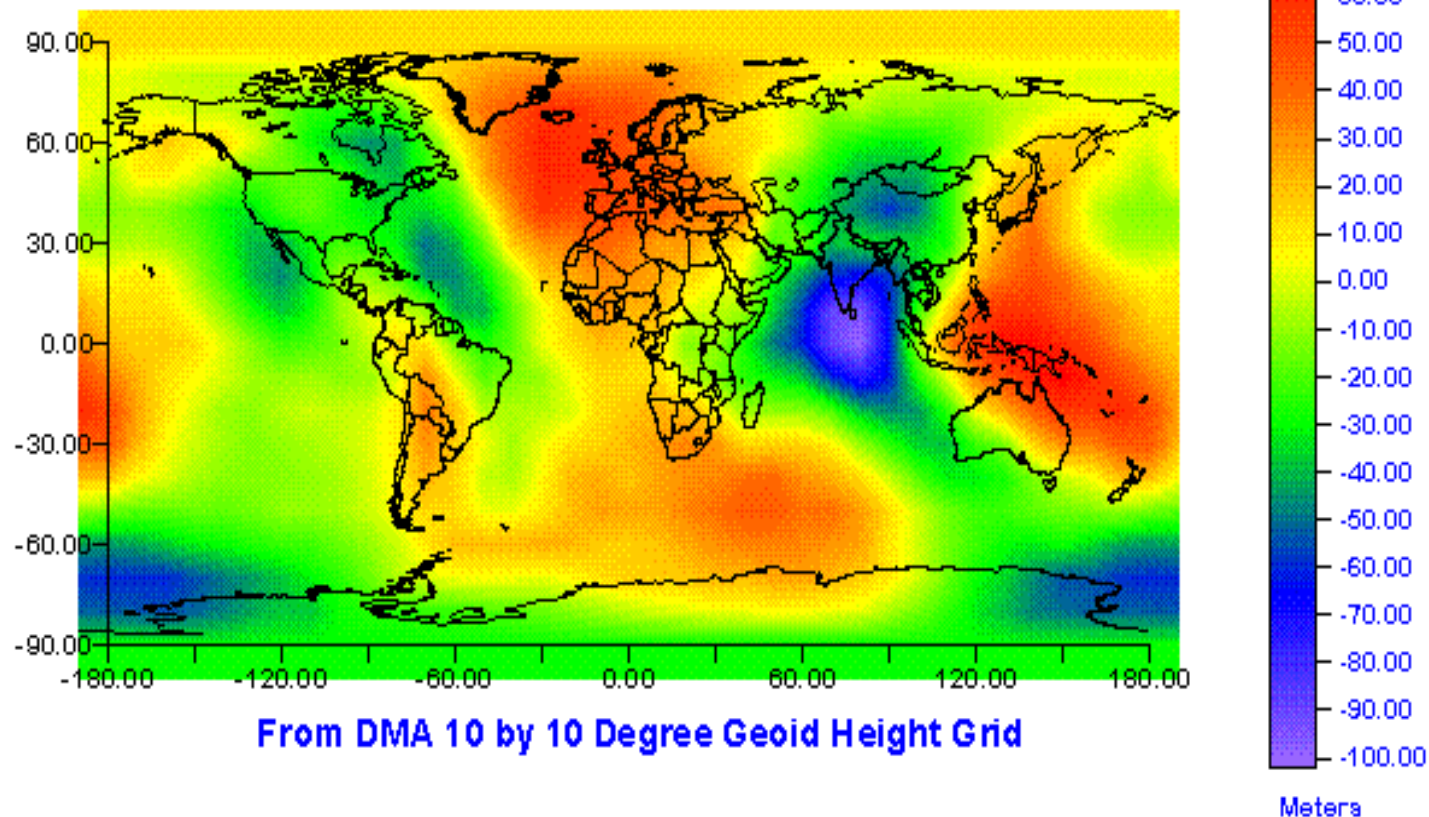




# Satellitt høydemåler

Hvorfor er vi interessert i høydemåling?

## WGS-84 Geoid Height

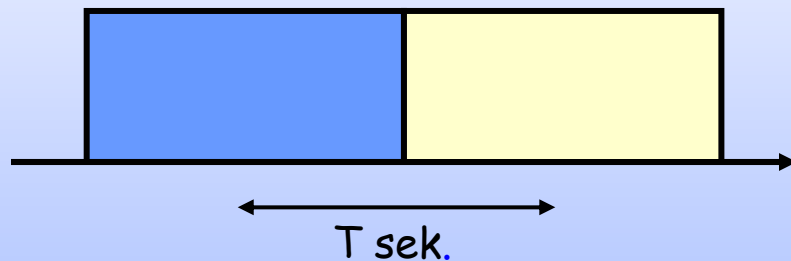
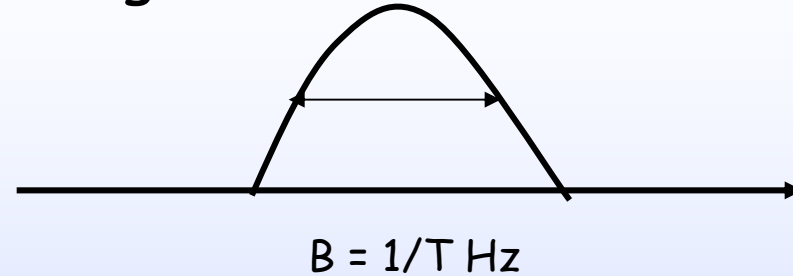
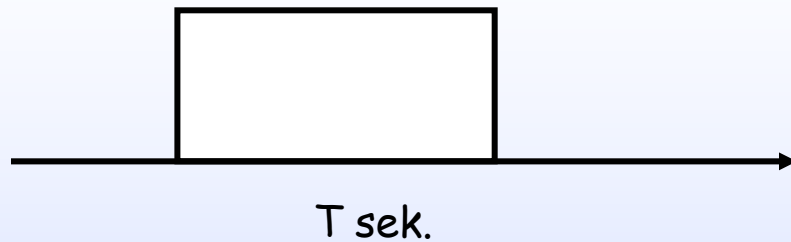


Peter H. Dana 11/05/95

# Oppløsning i tid og frekvens

En kort puls

har energien fordelt i frekvens slik



Da må båndbredden  
minst være  $1/T$  Hz.

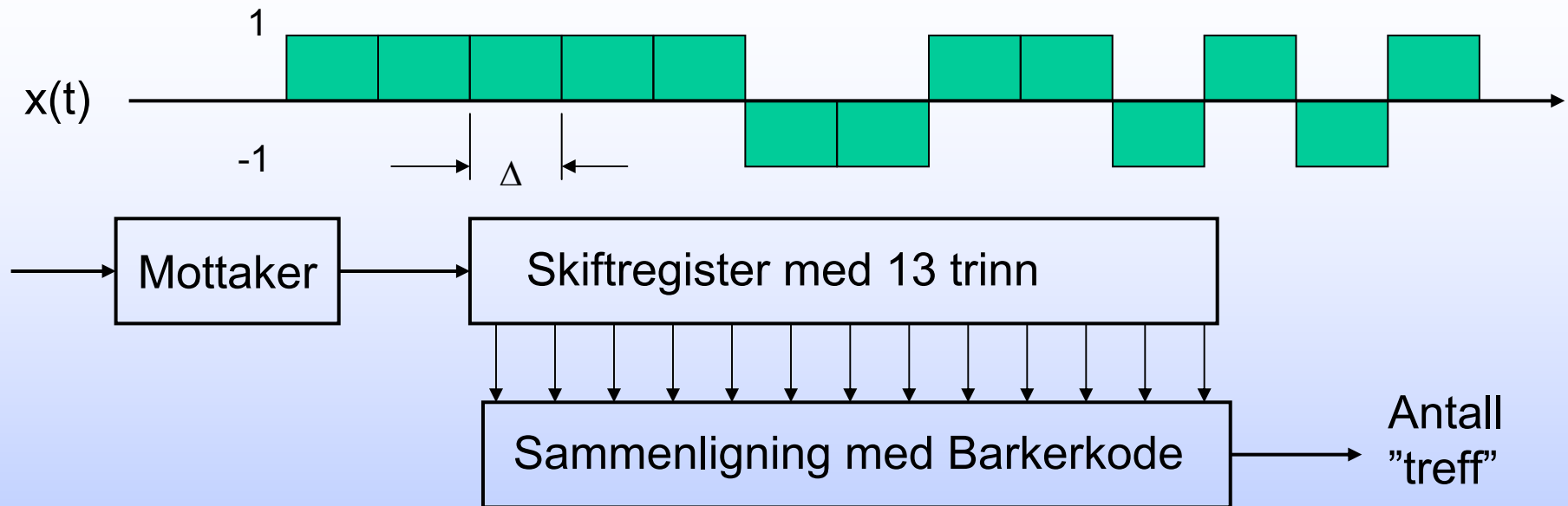
For å skille to pulser må  
pulslengden være kortere  
enn tids avstanden.

Eksempel (Radiobølger):

1 MHz	1 $\mu$ s	300 meter
10 MHz	0,1 $\mu$ s	30 meter
100 MHz	0,01 $\mu$ s	3 meter

# Bruk av kodet signal

## Barkerkode 13 elementer



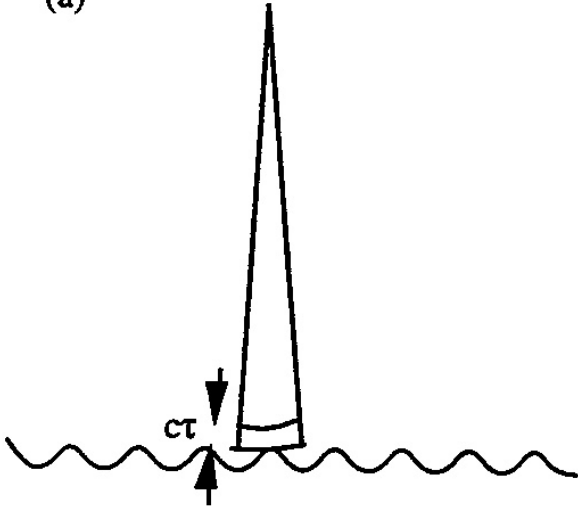
$$\int x(x) \cdot x(t) \cdot dt = 13\Delta$$
$$\int x(x) \cdot x(t + n\Delta) \cdot dt = 0 \text{ for alle verdier av } n \neq 0$$

Pulsenergi gitt av kodelengde, nøyaktighet gitt av  $\Delta$



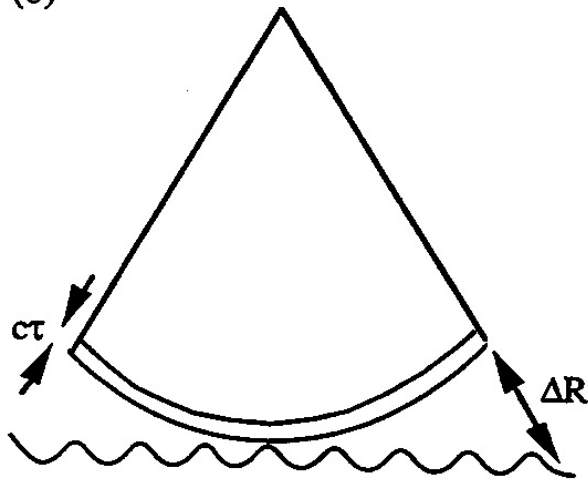
# Høydemåler

(a)



For å oppnå tilstrekkelig oppløsning på bakken må en satellittantenne ha store dimensjoner. For 1 km oppløsning fra 800 km høyde må åpningsvinkelen være ca 0,07 grader og det krever en aperturdimensjonen på 800 bølgelengder.

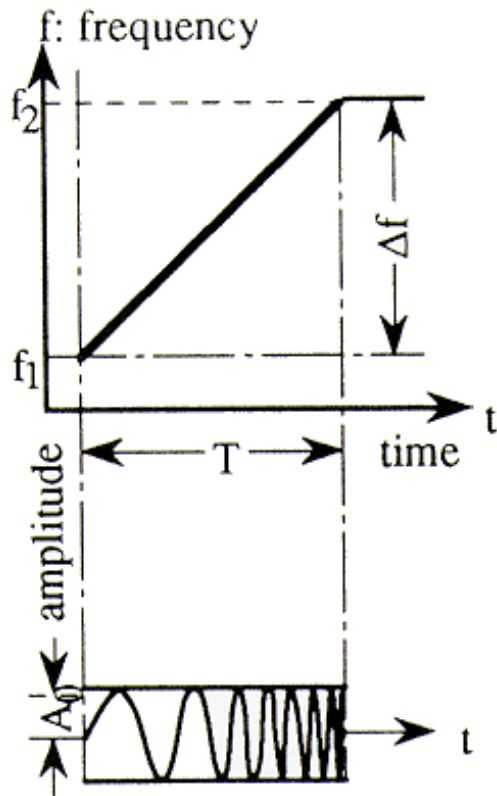
(b)



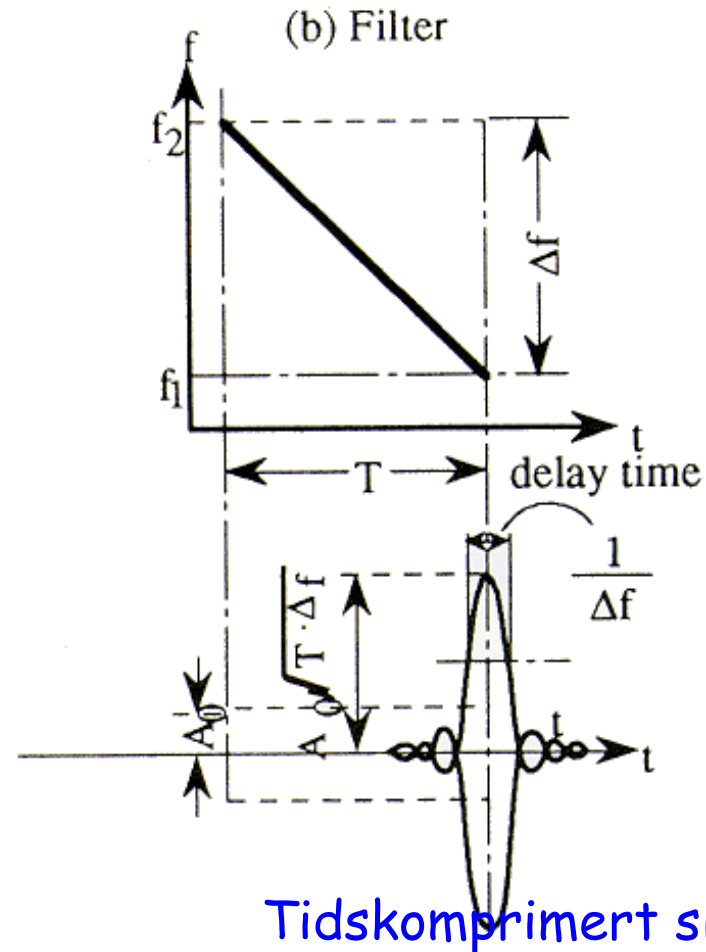
Et alternativ er å bruke en kort puls, og så bruke den første delen av refleksjonen. Dette betegnes pulsbegrensning, og ble benyttet på en første europeiske jordressurssatellitten ERS1.

Kort puls gir dårlig signal/støyforhold. Dette kan forbedres ved puls kompresjon.

# Bruk av chirpsignal og dispersivt filter

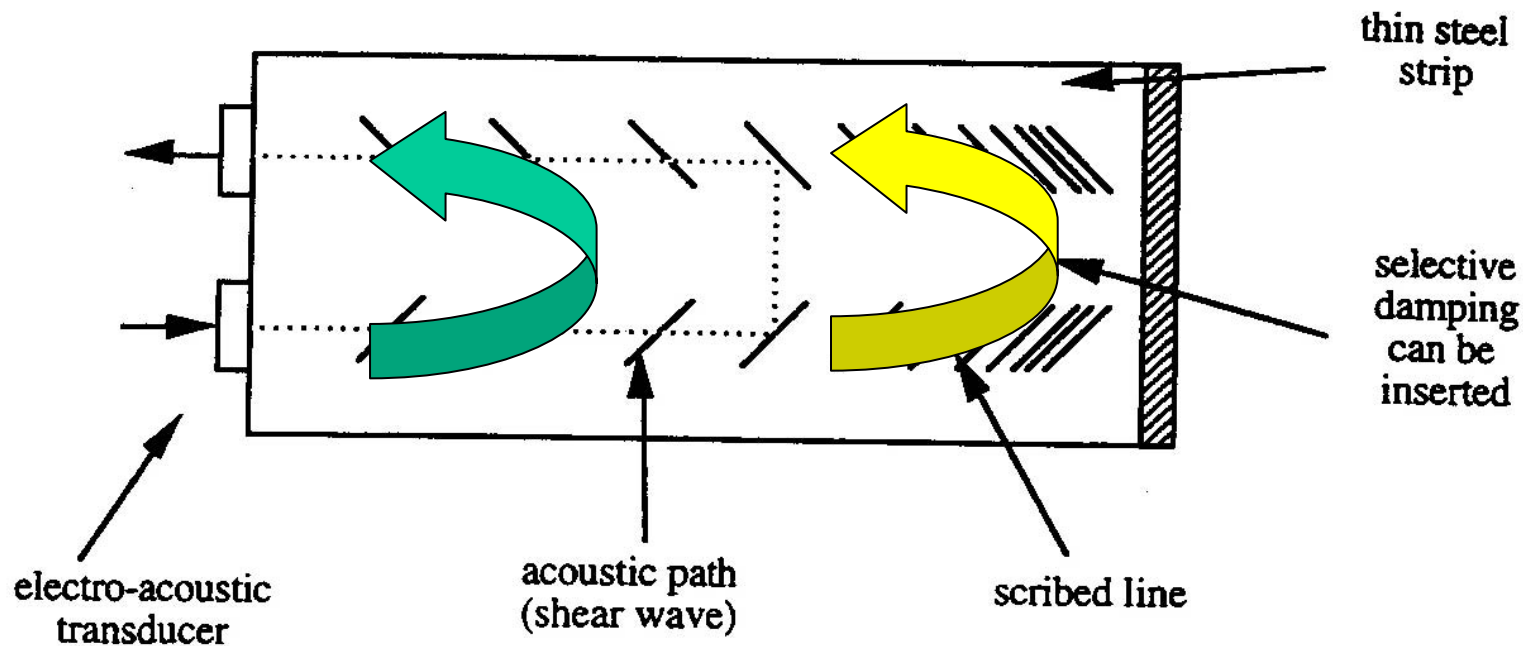


Utsendt bølgeform.



Tidskomprimert signal

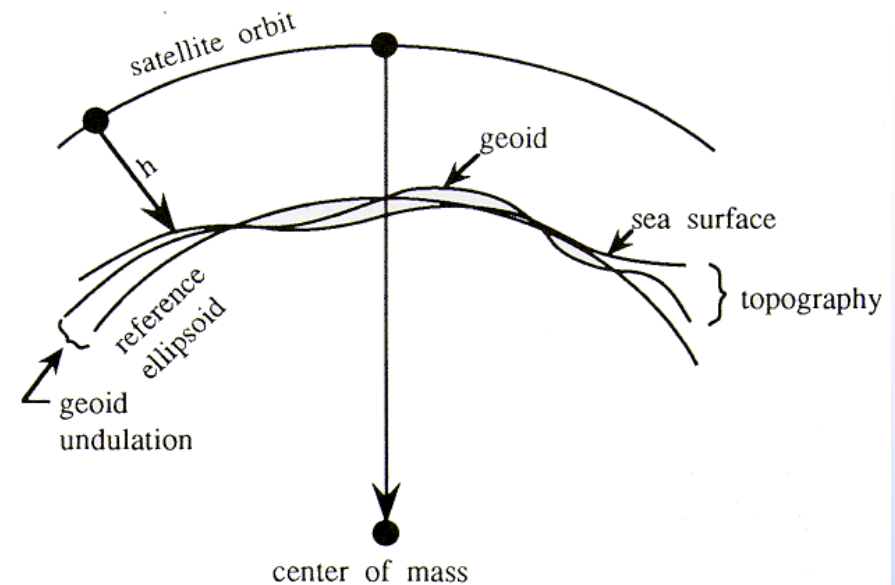
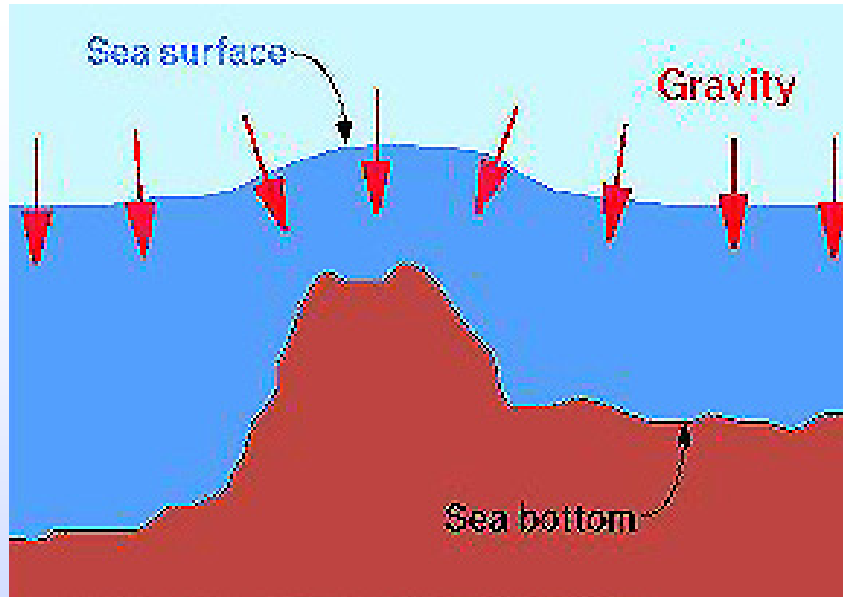
# Akustisk overflatebølgefilter



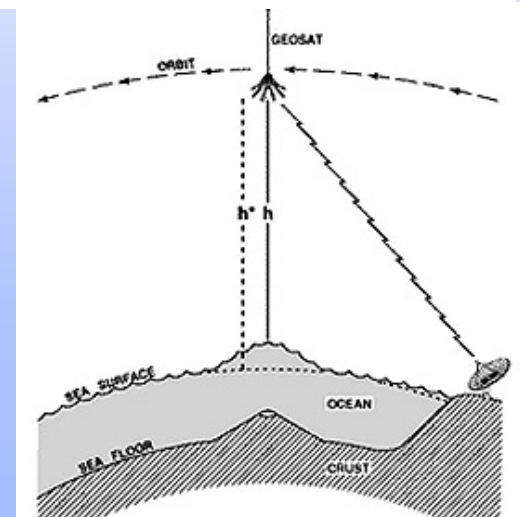
Elektriske signaler gjøres om til akustiske, og de forskjellige frekvenskomponentene går forskjellig veilengde i filteret.

Dette gir pulskompresjon, dechirping.

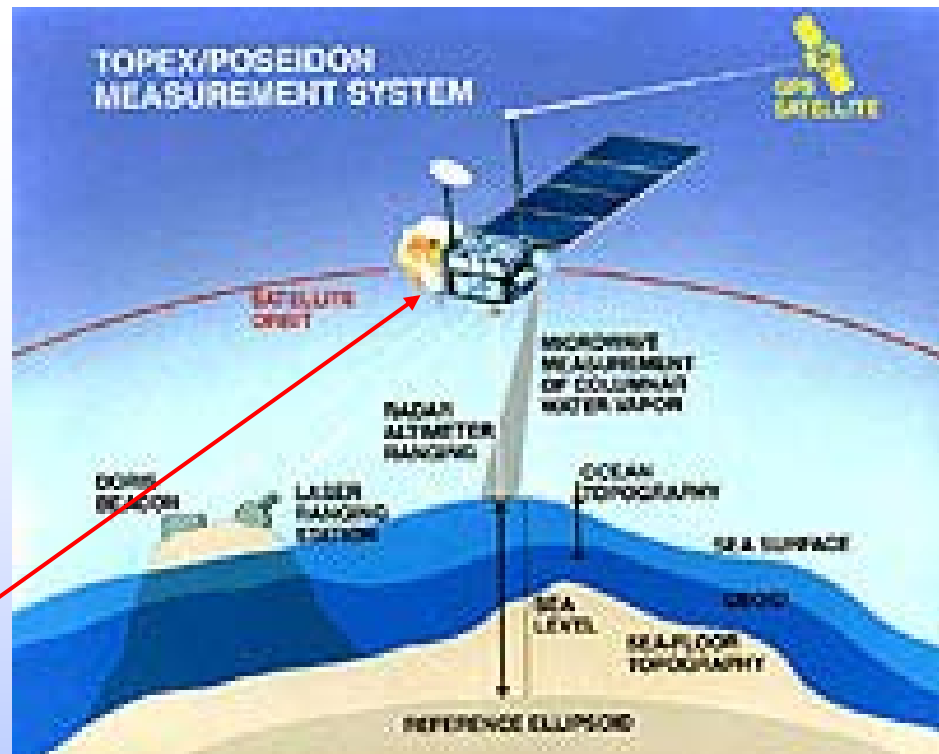
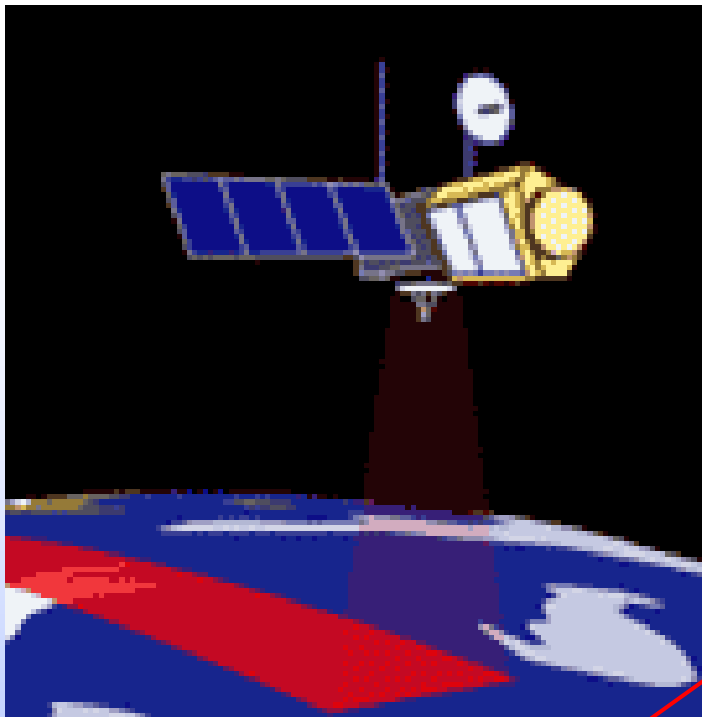
# Radar høydemåler



- Beregning av havoverflaten basert på
- nøyaktig avstandmåling satellitt havoverflate
  - nøyaktig kjennskap til normalvannhøyde
  - nøyaktig kjennskap til satellittbanen



# Topex Poseidon

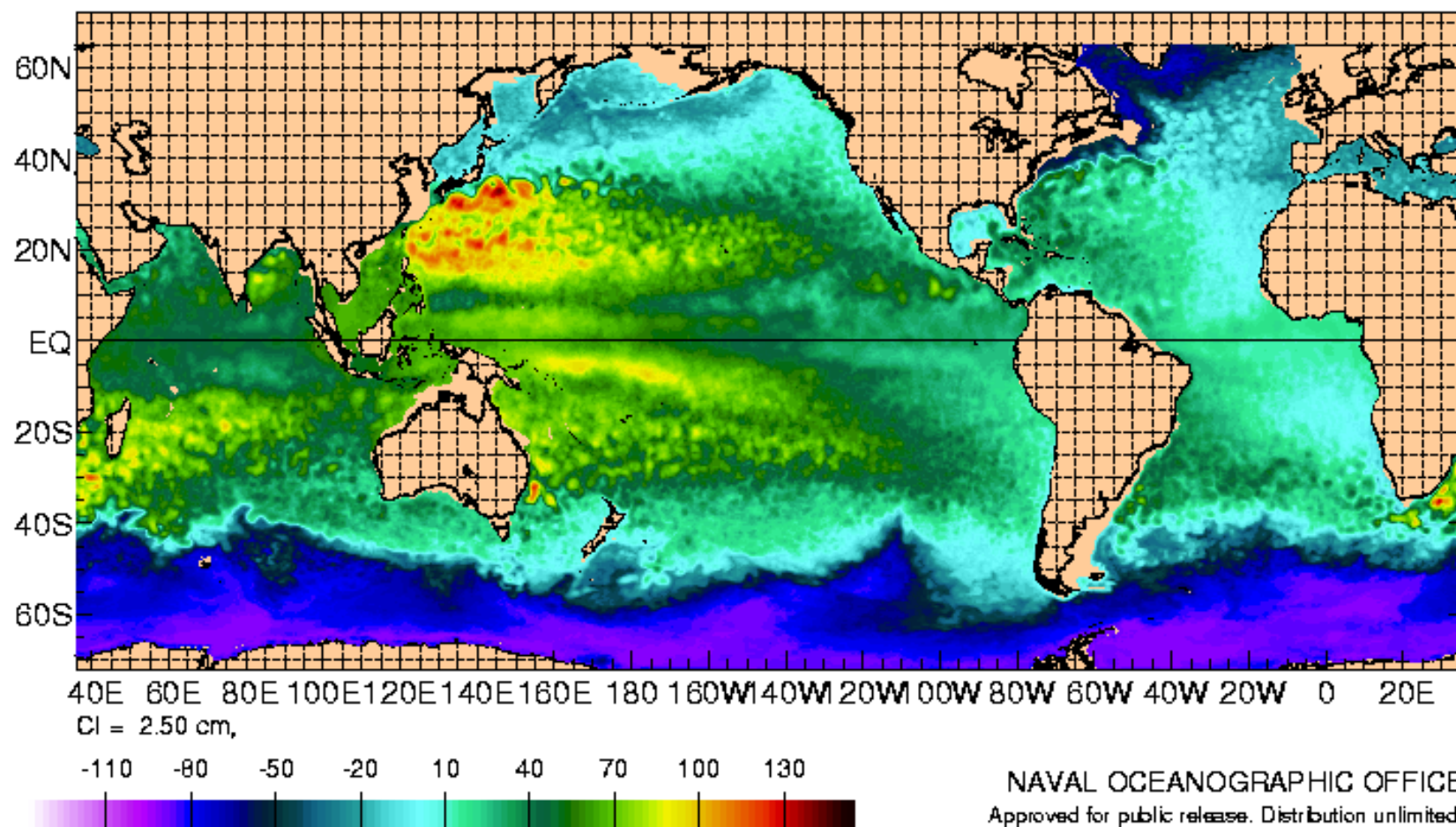


Banehøyde 1336 km.  
Målenøyaktighet 4 – 5 cm.  
Hastighet 7 km/s  
Repetisjonsperiod 10 dager  
Høydemålere ved 13,6 og 5,3 GHz  
CNES 13,65 GHz

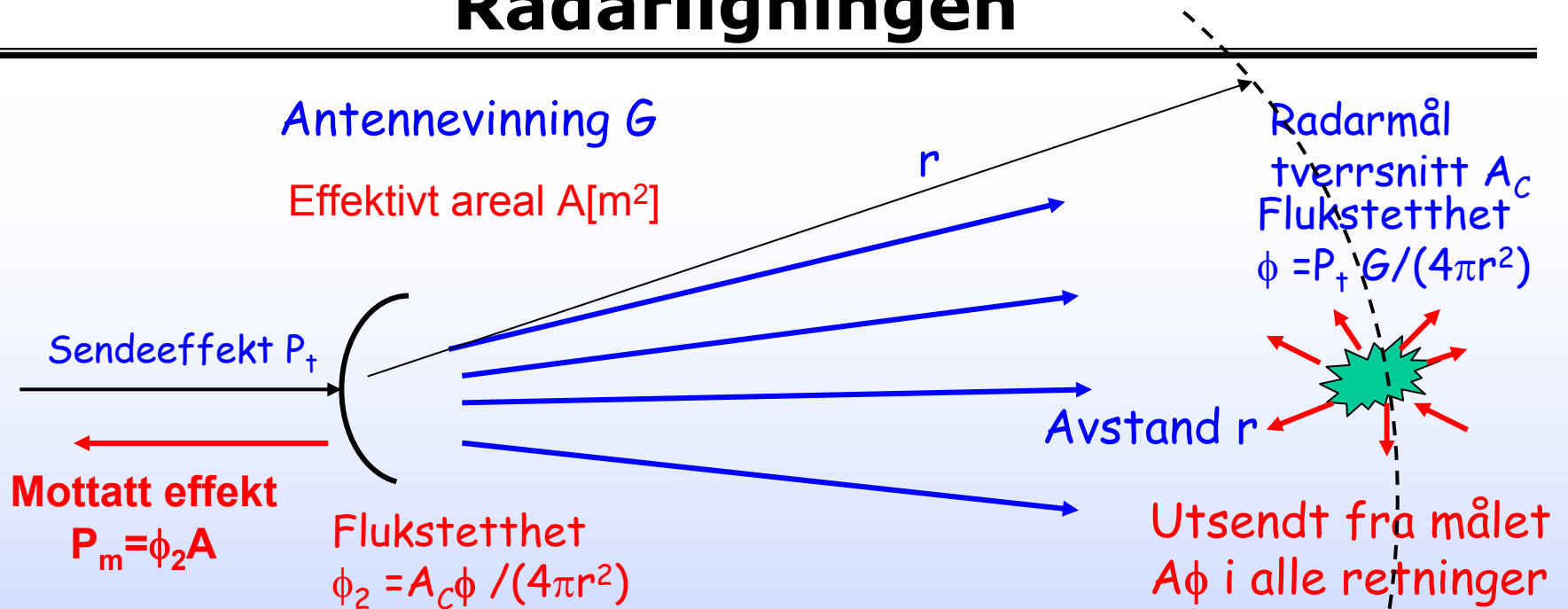
# TOPEX, 3. april 2005

UNCLASSIFIED: 1/16° Global NLOM

SSH ANALYSIS: 20050403



# Radarligningen



Sammenhengen mellom areal og antennevinning  $G = 4\pi \frac{A}{\lambda^2}$

$$P_m = P \cdot G \cdot \frac{1}{4\pi r^2} \cdot A_c \cdot \frac{1}{4\pi r^2} \cdot A$$

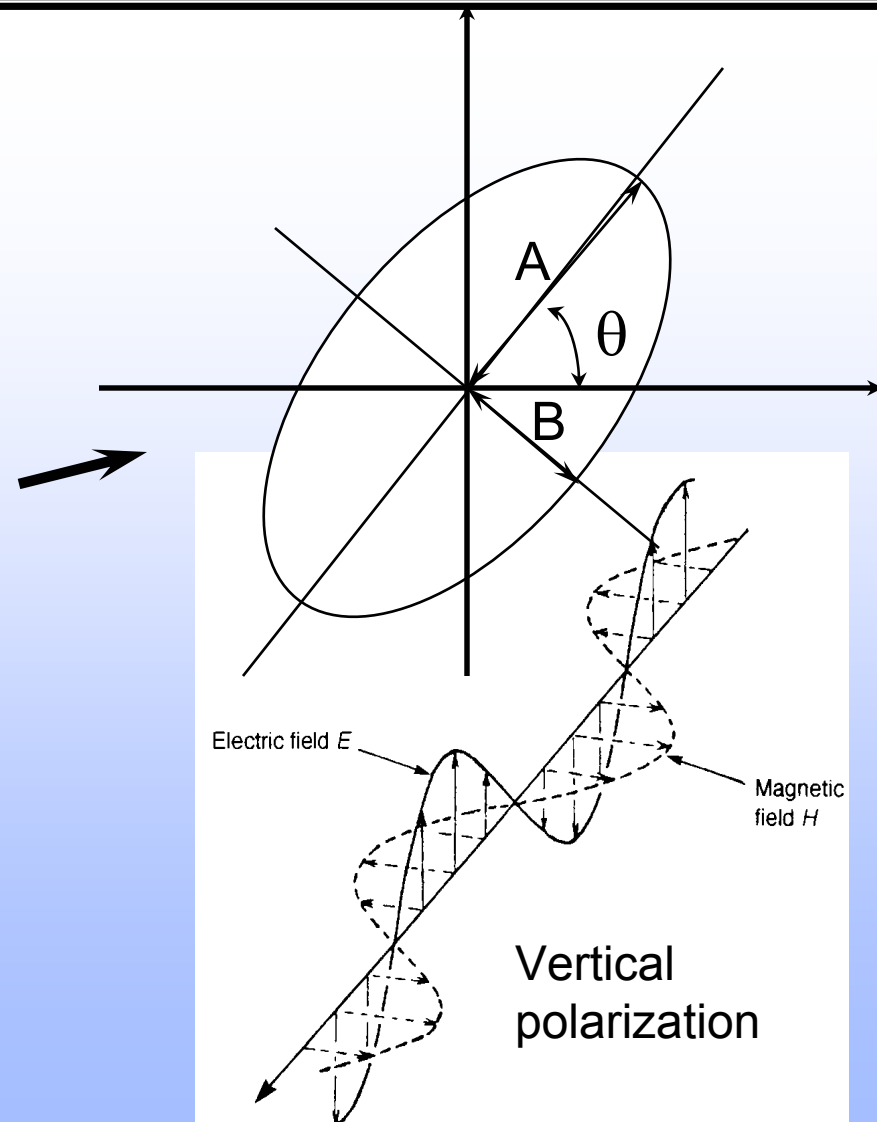
Radarligningen.

$$P_m = \frac{P_t \cdot G^2 \cdot \lambda^2 \cdot A_c}{(4\pi)^3 \cdot r^4}$$



# POLARISASJON

- **Lineær polarisasjon**
  - Retning
- **Sirkulær pol.**
  - Rotasjonsretning
- **Elliptisk polarisasjon**
  - Retning
  - Aksialforhold ( $A/B$ )
  - Helningsvinkel,  $\theta$ ,

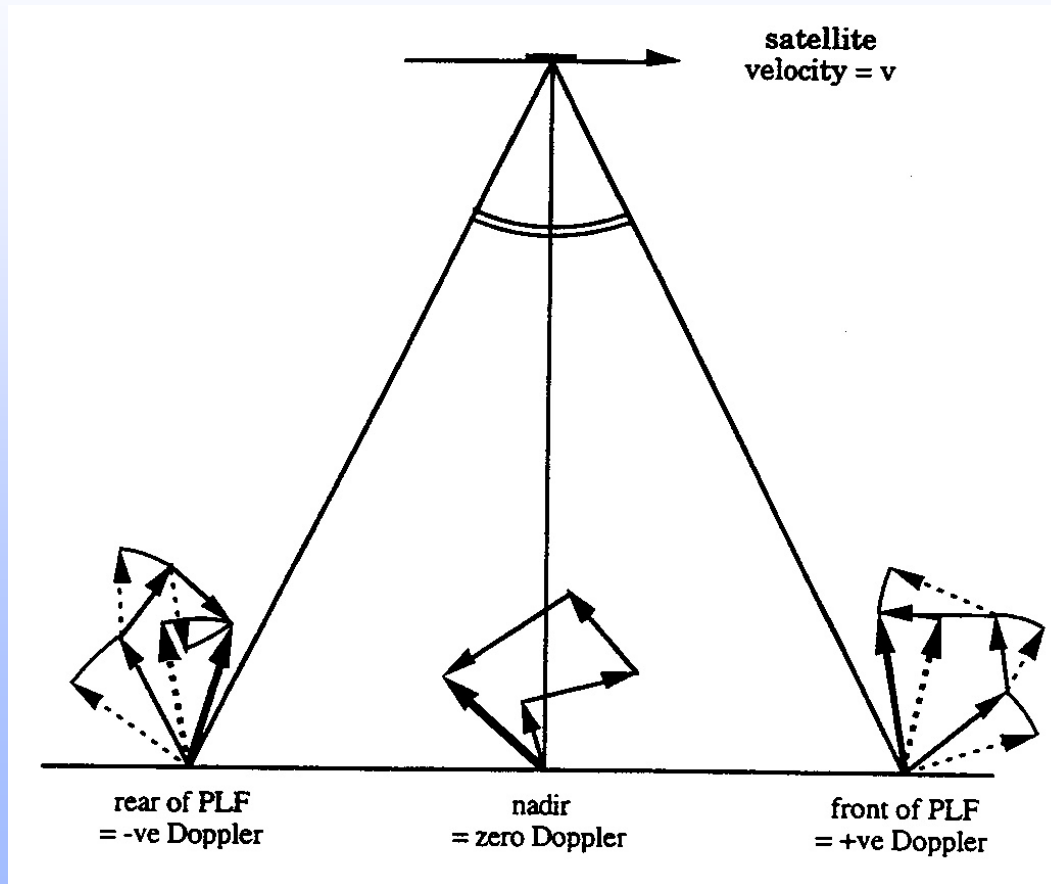




# Doplerforskyvning

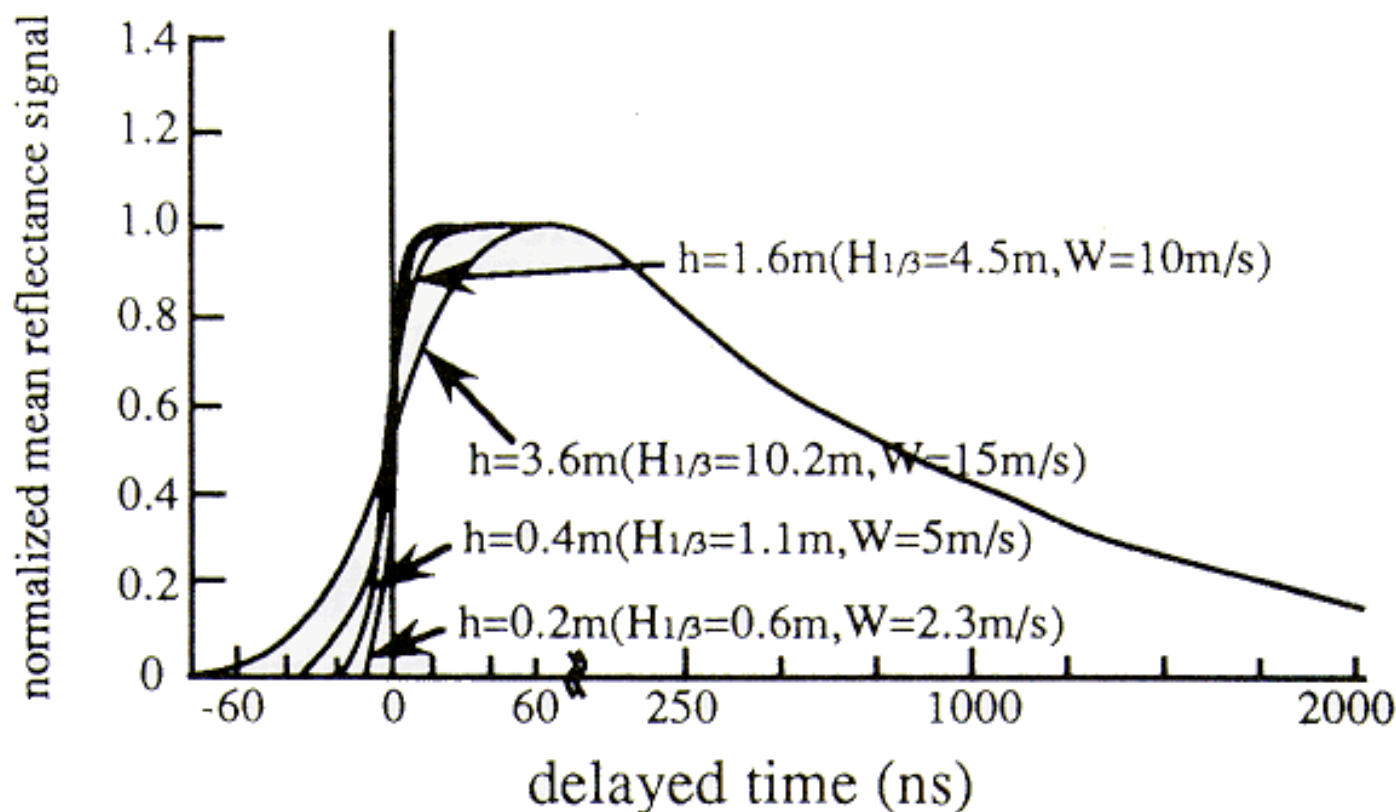
Frekvensforskyvning  $\Delta f = -\frac{(dr/dt)}{\lambda}$

Når veilengden for signalet avtar, øker mottatt frekvens med veilengdereduksjon per sekund målt i bølgelegder.



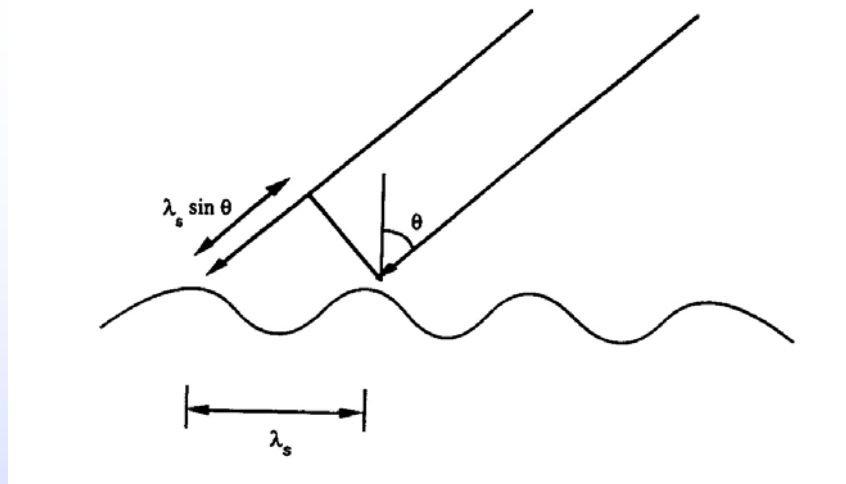
Med en frekvens på 10 GHz (10000 MHz) er bølgelengden 0,03 meter. Hvis avstand sender (via mål) til mottaker avtar med 3 km per sekund vil frekvensen for mottatt signal ligge  $3000/0,03 = 100\ 000\ \text{Hz} = 100\ \text{kHz}$

# Spredningskoeffisienter for havbølger



Økende bølgehøyde gir økt spredning i tid av det reflekterte signalet.

# Deteksjon av bølger, Bragg-resonans

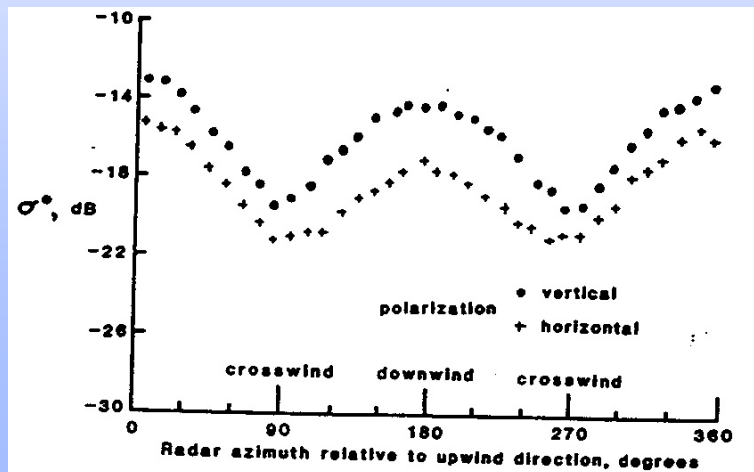


Resonans når

$$2\lambda_H \cdot \sin \theta = n \cdot \lambda_R$$

Hvis vi kunne regulere bølgelengden kunne vi måle bølgelengden for bølgene på havoverflata..

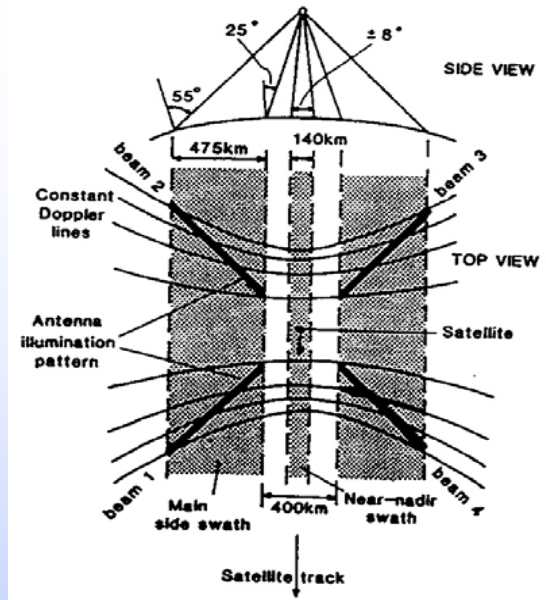
## SEASAT A Satellite Scatterometer (SASS)



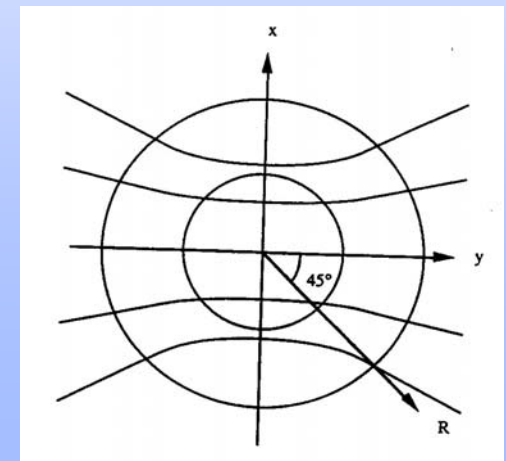
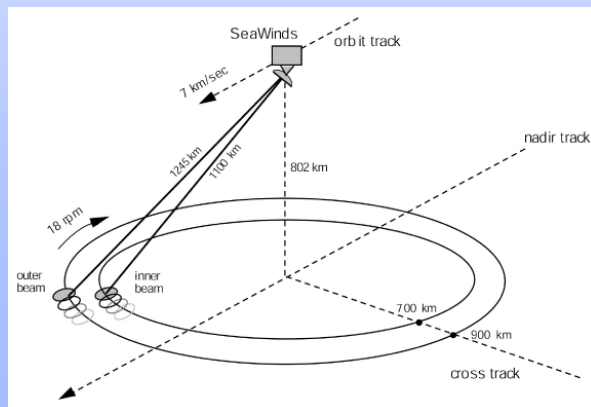
Tilbakespredingen varierer med retningen for bølgene (asimut) (Målt med 45 grader innfallsvinkel)

For å kunne bestemme bølgeretning må det derfor foretas flere målinger.

# Seasat-A Satellite Scatterometer System

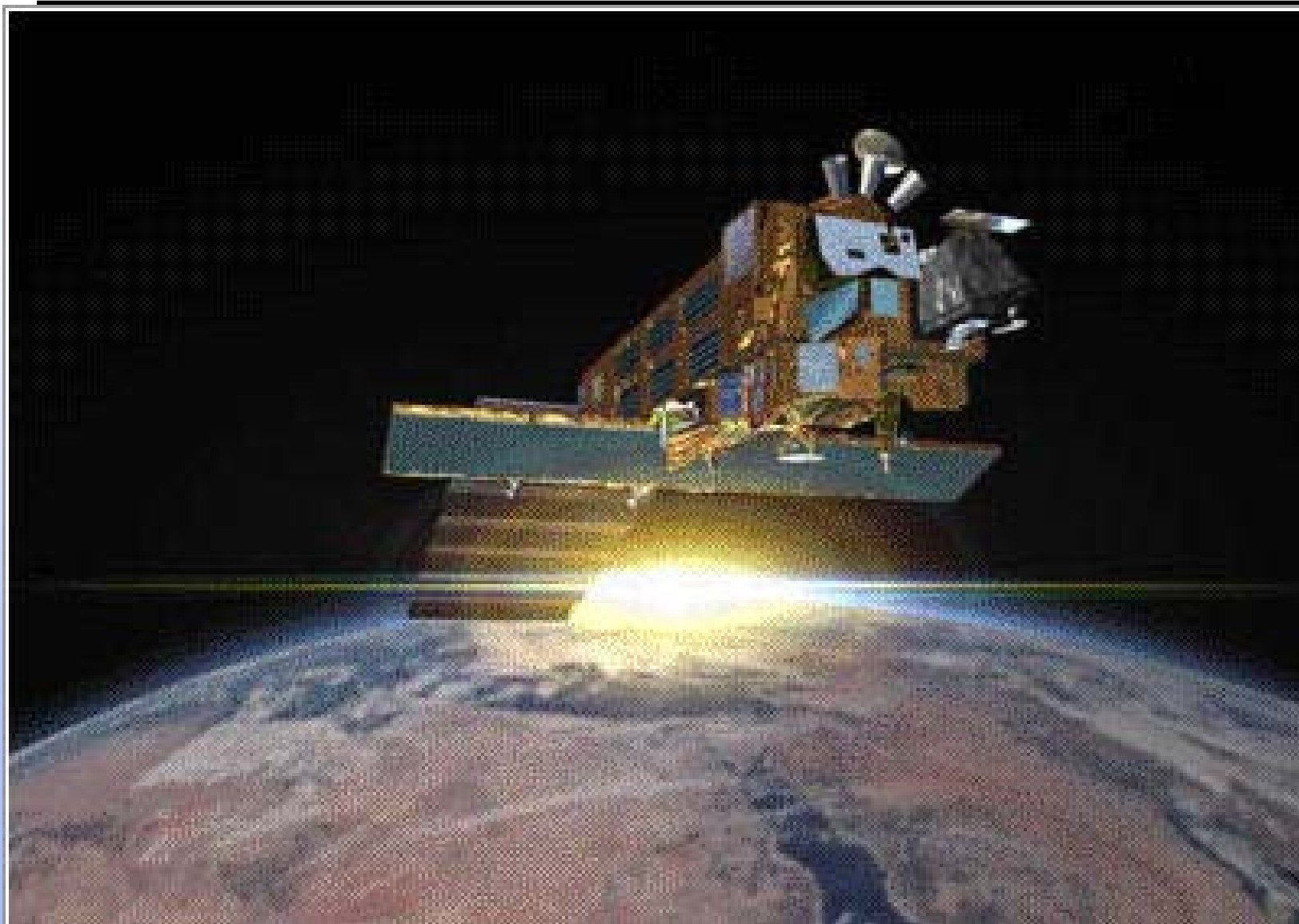


Frekvens 14,6 GHz  
 Antall stråler: 4  
 Ståleretninger: 45 grader  
 Asimut strålebredde: 0,5 grader  
 Elevasjon strålebredde 25 grader  
 (Dekningsområde nadir: 140 km)  
 Polarisasjonsretninger: H og V  
 Tid mellom målinger  
 i forskjellige retninger: 1 - 3 min

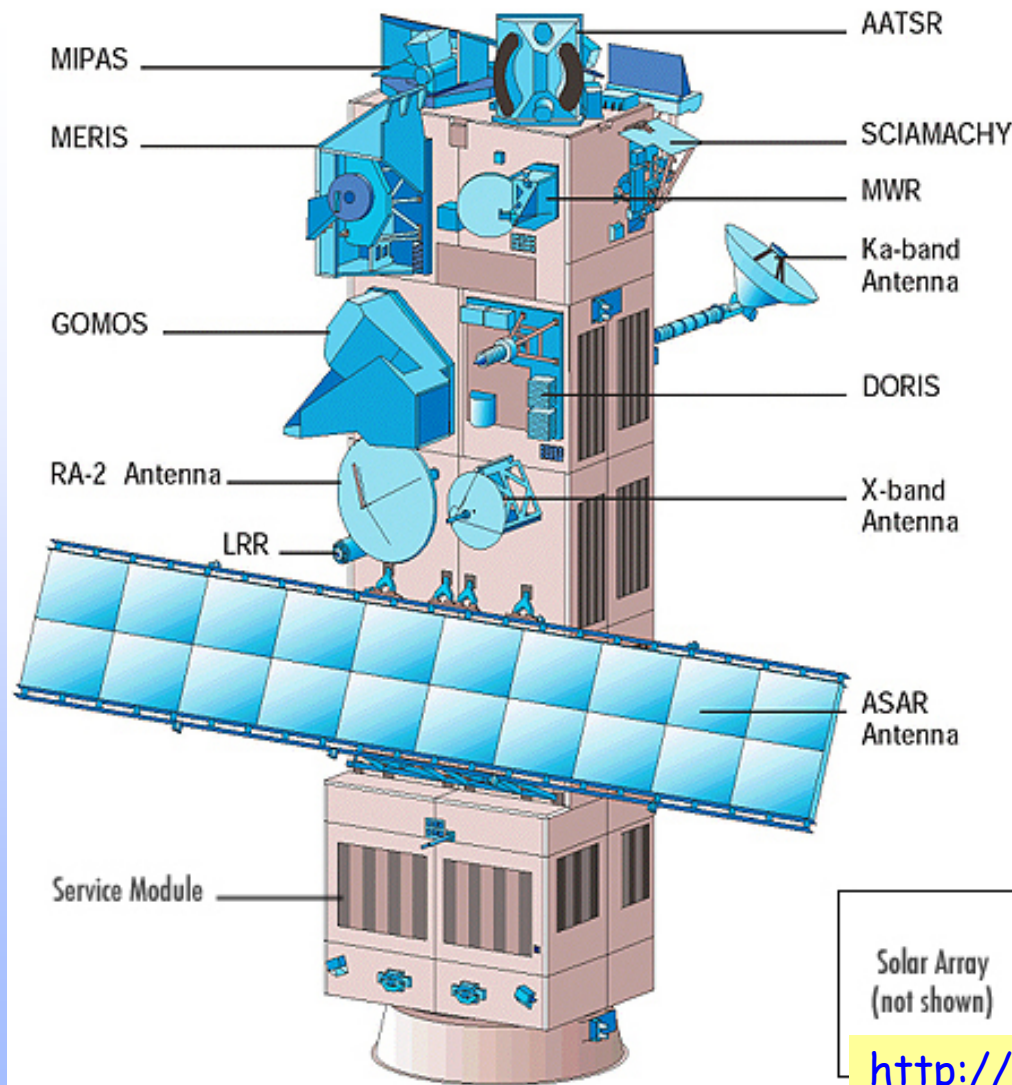


Oppløsning i  
Dopplerskift  
og avstand

# ENVISAT



# ENVISAT



## MWR

### (MicroWave Radiometer)

The main objective of the MicroWave Radiometer (MWR) is the measurement of the integrated atmospheric water vapour column and cloud liquid water content, as correction terms for the radar altimeter signal.

In addition, MWR measurement data are useful for the determination of surface emissivity and soil moisture over land, for surface energy budget investigations to support atmospheric studies, and for ice characterization.

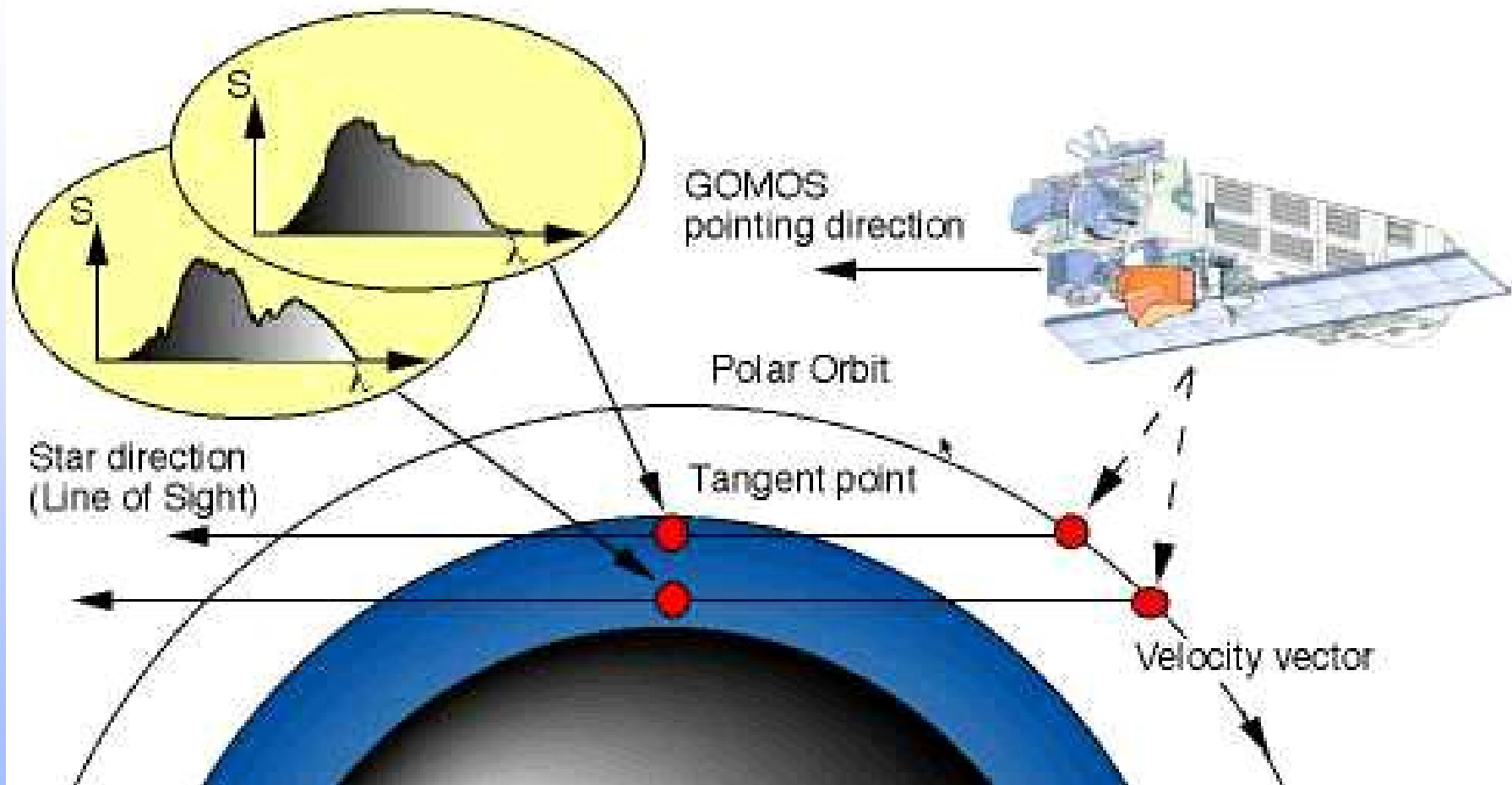
<http://envisat.esa.int/instruments/tour-index/>

---

# GOMOS

# Prinsippet for GOMOS

Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars





# Oppgaver for GOMOS

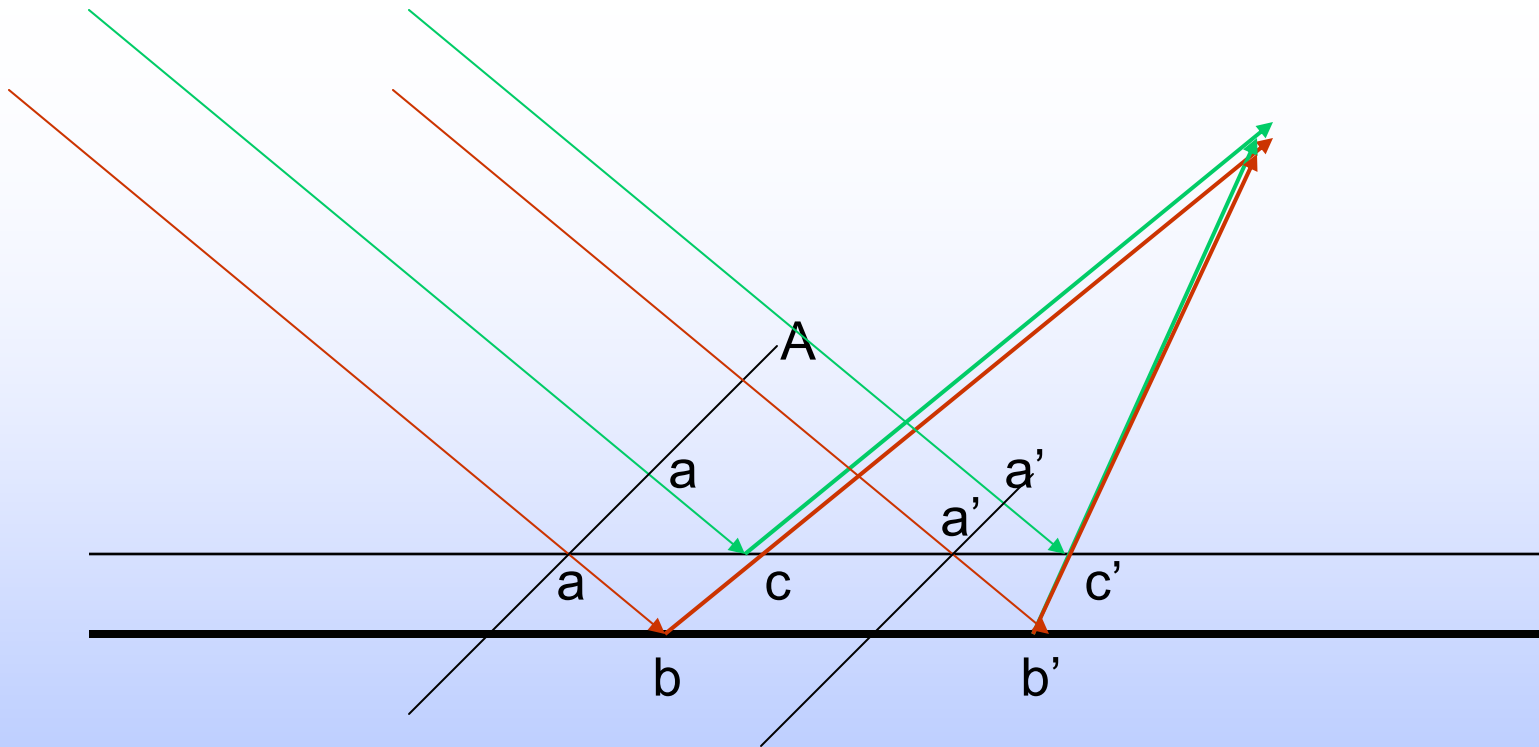
---

- Measurement of profiles of ozone, NO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, OClO, temperature, and water vapor;
- Day- and night-side measurement capability;
- Global coverage with typically over 600 profile measurements per day;
- Altitude measurement capability between the tropopause and 100 km;
- Altitude resolution of better than 1.7 km.

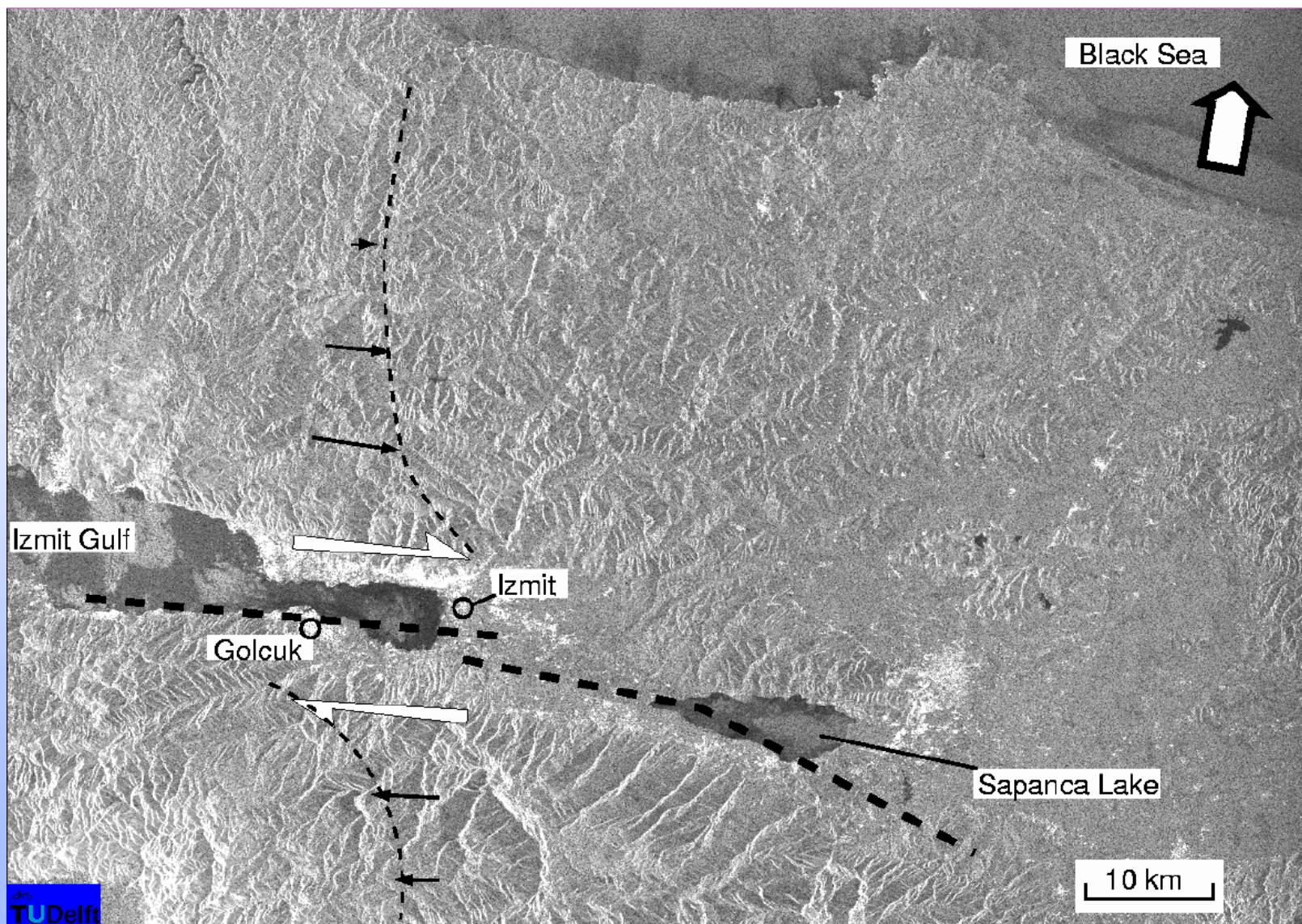
---

# Interferometri

# Interferometri

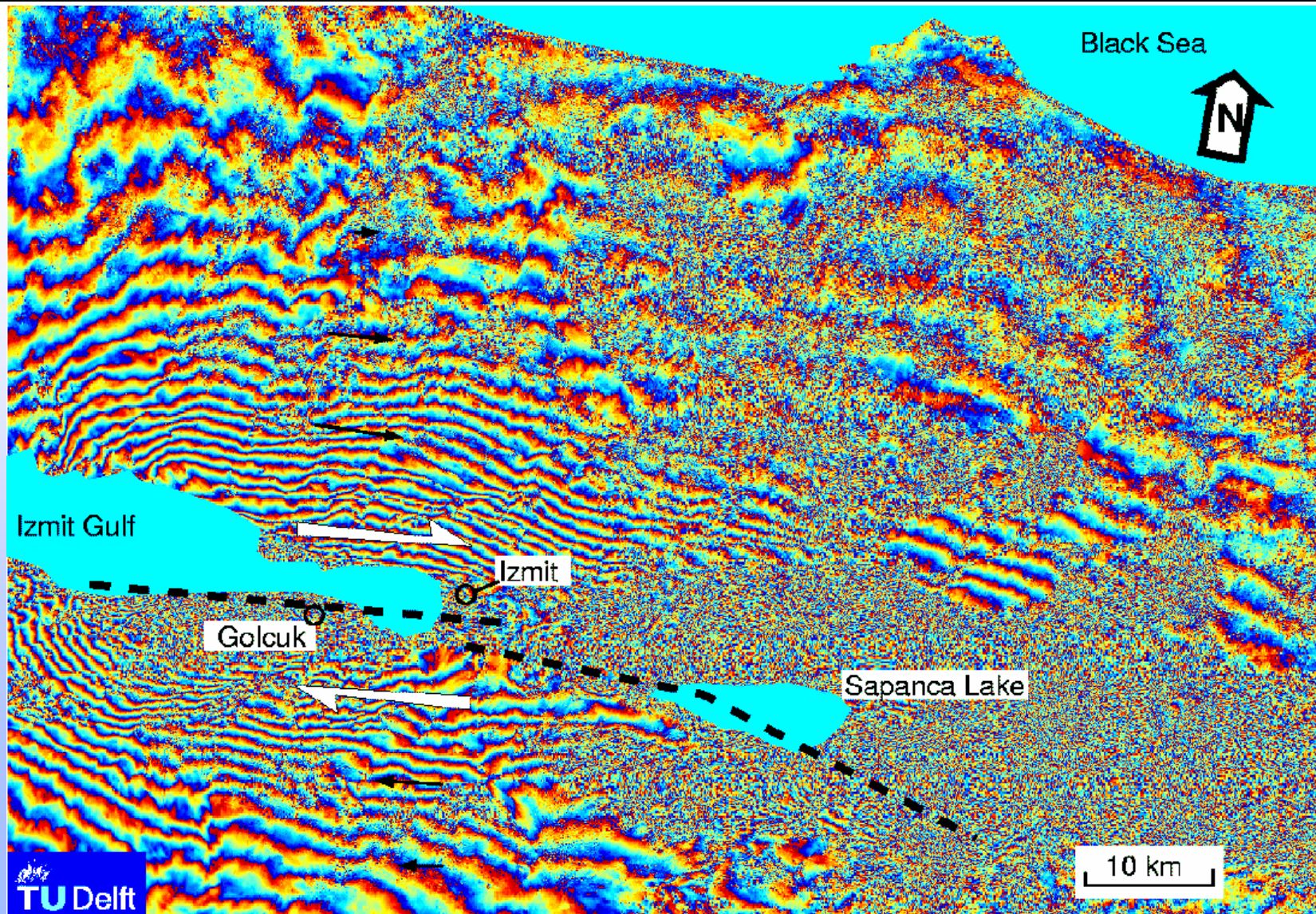


# SAR-bilde av Nord-Tyrkia





# Interferogram av Nord-Tyrkia





# Vulkanen Etna

---

